



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PERANCANGAN SISTEM PEMELIHARAAN
MENGUNAKAN METODE RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE (RCM) (STUDI
KASUS: PLTU PAITON UNIT 3)**

RATNA BHAKTI PUSPITA SARI
NRP 21 14 105 042

Dosen Pembimbing
Ir. Sudiyono Kromodihardjo, M.Sc., Ph.D

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TM 141585

**PERANCANGAN SISTEM PEMELIHARAAN MENGGUNAKAN
METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)
PADA PULVERIZER
(STUDI KASUS: PLTU PAITON UNIT 3)**

RATNA BHAKTI PUSPITA SARI
NRP. 2114105042

Dosen Pembimbing
Ir. SUDIYONO KROMODIHARDJO, M.Sc., PhD

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TM 141585

**MAINTENANCE SYSTEM DESIGN USING RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE (RCM) METHOD ON
PULVERIZER
(STUDY CASE: PLTU PAITON UNIT 3)**

**RATNA BHAKTI PUSPITA SARI
NRP. 2114105042**

**Advisor
Ir. SUDIYONO KROMODIHARDJO, M.Sc., PhD**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**

**PERANCANGAN SISTEM PEMELIHARAAN
MENGUNAKAN METODE RELIABILITY CENTERED
MAINTENANCE (RCM) PADA PULVERIZER (STUDI
KASUS: PLTU PAITON UNIT 3)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Manufaktur
Program S1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RATNA BHAKTI PUSPITA SARI
NRP. 2114 105 042

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Sudiyono Kromodihardjo, M. Sc., PhD. (Pembimbing)
NIP. 195208011978031005
2. Dinny Harnany, ST., M.Sc. (Penguji I)
NIP. 2100201405001
3. Ari Kurniawan Saputra, ST., MT. (Penguji II)
NIP. 198604012015041001
4. Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, M.Sc. (Penguji III)
NIP. 195904301989031001

**SURABAYA
JANUARI 2017**

**PERANCANGAN SISTEM PEMELIHARAAN
MENGUNAKAN METODE RELIABILITY
CENTERED MAINTENANCE (RCM) PADA
PULVERIZER
(STUDI KASUS: PLTU PAITON UNIT 3)**

Nama Mahasiswa : Ratna Bhakti Puspita Sari
NRP : 2114105042
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Sudijono K, MSc.PhD.

ABSTRAK

PLTU Paiton Unit 3 merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi listrik menggunakan bahan baku batubara yang terletak di Paiton, Probolinggo. Untuk mencapai target proses produksi dilakukan 24 jam selama 1 tahun tanpa henti. Program pemeliharaan mesin sangat penting untuk kelancaran proses produksi. Dalam rangka mencapai target tersebut dituntut adanya kelancaran pengiriman batubara dari silo hingga mencapai *surface burner* menggunakan *pulverizer*. Data dari Departemen Engineering menunjukkan bahwa beberapa subsistem *pulverizer* sering mengalami kerusakan yang dapat menimbulkan kegagalan pada sistem tersebut.

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) untuk menurunkan tingkat *breakdown* mesin dan *downtime* produksi. Data historis kerusakan pulverizer akan dianalisa. Kemudian kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem diidentifikasi menggunakan tahap *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Selanjutnya tahap *RCM Decision Worksheet* untuk mengetahui bagian mana dari sistem yang gagal dan perlu dilakukan tindakan perbaikan dan pencegahan berdasarkan kegagalan yang ada agar kejadian yang sama tidak terulang serta

menentukan kegiatan perancang perawatan yang tepat pada setiap komponen.

Berdasarkan analisis data secara *Reliability Centered Maintenance* (RCM) terdapat 12 *failure mode* yang terjadi pada *pulverizer*, 3 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task*, 8 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled discard task*, dan 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *redesign*. Analisis distribusi kegagalan dengan perangkat lunak Weibull++6 didapatkan MTBF *grinding roller* 2880,66 jam, MTBF *hydraulic pump* 5075,06 jam, MTBF *gearbox* 5381,65 jam dan MTBF *coal feeder* 525,17 jam.

Kata kunci: *pulverizer, perawatan, Reliability Centered Maintenance*

**MAINTENANCE SYSTEM DESIGN USING
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM)
ON PULVERIZER
(STUDY CASE: PLTU PAITON UNIT 3)**

Nama Mahasiswa : Ratna Bhakti Puspita Sari
NRP : 2114105042
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir.Sudijono K, MSc.PhD.

ABSTRACT

PLTU Paiton Unit 3 is a company engaged in the production of electricity using coal raw material located in Paiton, Probolinggo. To reach the target production everyday, the process is done 24 hours for 1 year without stopping. Maintenance program is essential for a smooth production process. In order to achieve these targets demanded their fluency delivery of coal from the silo to reach the burner surface using a pulverizer. Data from the Department of Engineering showed that some subsystems pulverizer often damaged which can lead to failure in the system.

In this research using Reliability Centered Maintenance (RCM) to reduce the level of engine breakdown and production downtime. Historical data of pulverizer will be analyzed. Then the failure of a component which may cause a malfunction of the system are identified using phase Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). The next stage of RCM Decision Worksheet to determine which parts of the system that failed and the necessary corrective and preventive action based on the failure of which is that the same events are not repeated and to determine appropriate maintenance designer activity on each component.

The result of this thesis shows based on data analysis Reliability Centered Maintenance (RCM) there are 12 failure modes that occur in the pulverizer, 3 failure mode can be prevented with the scheduled restoration task, 8 failure mode can be prevented with a scheduled discard task, and one failure mode can be prevented with the redesign. Failure distribution analysis software obtained Weibull ++ 6 hours MTBF grinding roller 2880.66, 5075.06 hours MTBF hydraulic pump, gearbox 5381.65 hours MTBF and MTBF coal feeder 525.1769 hours.

Keywords: pulverizer, maintenance, Reliability Centered Maintenance

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah saya panjatkan kehadiran Allah SWT atas karunia-Nya sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana teknik, jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung baik secara moril maupun materiil, antara lain:

1. Tatik Rusmini, mama tercinta yang senantiasa memberi dukungan dan doa sehingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan di Teknik Mesin.
2. Ir. Sudijono Kromodiharjo, MSc.PhD.selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan memberikan arahan yang bermanfaat dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Ir. Bustanul Arifin Noer, MSc., Dinny Harnany, ST., M.Sc dan Ari Kurniawan, ST, MT, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik yang bermanfaat dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Moh. Solihin, ST, MT. selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama lima semester perkuliahan.
5. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
6. Chininta Amalia Pertiwi dan Anabela Septi Sebagai saudara tercinta yang selalu memberikan dukungan dan doa nya selama ini
7. David Imanuel (davnue) dan Trisna Martha (_trisna_), sahabat terbaik, ternyinyir, terlambe turah, tergila, ter-

serba bisa dan serba mau, terrempong dunia akhirat, dan terseksi se mesin.

8. Ridha, Niko, Anang, dan semua teman-teman Lintas Jalur Teknik Mesin angkatan 2014 terbaik dalam suka dan duka selama ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.
9. The threemusketeer (JER) yang tidak banyak membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini di minggu-minggu terakhir.
10. Kakak-kakak “u-know-who” di kampus yang selalu memberikan senyum dan semangat setiap hari hingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Seluruh warga Lab. Korosi dan Lab. TPBB, tempat penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini yang telah membantu dan memberikan banyak arahan.
12. Semua pihak di PLTU Paiton Unit 3, 7 & 8 yang telah banyak membantu penelitian Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu-persatu,
13. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu oleh penulis.

Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari sempurna, kritik dan saran yang dapat menyempurnakan penyusunan Tugas Akhir sangat diperlukan. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Perawatan (Maintenance).....	6
2.2.1 Definisi Perawatan.....	6
2.2.2 Tujuan Perawatan.....	6
2.2.3 Jenis Perawatan.....	7
2.3 Reliability Centered Maintenance (RCM).....	8
2.3.1 Tujuan <i>Reliability Centered Maintenance</i>	9
2.2.Langkah-Langkah Penerapan Metode <i>Reliability Centered Maintenance</i>	9
2.4 Laju Kegagalan.....	14
2.4.1 Karakteristik Laju Kegagalan.....	15
2.4.2 <i>Maintainability</i>	16
2.4.3 <i>Availability</i>	17
2.5 Distribusi Data Waktu Kegagalan.....	17
2.5.1 Distribusi Eksponensial.....	17

2.5.2 Distribusi Weibull.....	18
2.5.3 Distribusi Normal.....	18
2.5.4 Distribusi Lognormal.....	19
2.5.5 Keandalan dengan <i>Preventive Maintenance</i>	20
2.6 Studi Pendahuluan	21
2.6.1 Gambaran Umum Perusahaan	21
2.6.1 Struktur Organisasi	22
2.7 Studi Pendahuluan	24
2.7.1 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap....	24
2.7.2 Pengertian <i>Pulverizer</i>	26
2.7.3 Prinsip Kerja <i>Pulverizer</i>	26
2.7.4 Bagian-bagian <i>Pulverizer</i>	27
2.7.5 <i>Coal Feeder</i>	29
2.7.6 Komponen-Komponen <i>Coal Feeder</i>	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Metodologi Penelitian	33
3.2.1 Studi Literatur, Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan.....	33
3.2.2 Perumusan Masalah.....	33
3.2.3 Pengumpulan Data.....	34
3.2.4 Pengolahan Data	34
3.2.5 Deskripsi Data	34
3.2.6 Batasan Sistem dan Block Diagram.....	34
3.2.7 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	34
3.2.8 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	34
3.2.9 Analisa Kuantitatif.....	35
3.2.10 Kesimpulan.....	35
BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA DATA.....	37
4.1 Aktivitas Pemeliharaan di PLTU Paiton Unit 3.....	37
4.2 Deskripsi Sistem	38

4.3 Analisa Pemilihan Komponen Kritis.....	40
4.4 Pengumpulan Data Kerusakan....	41
4.5 Fungsi, Kegagalan fungsi, Modus Kegagalan, dan Efek Kegagalan.....	42
4.6 Analisa <i>Maintenance Task</i>	52
4.7 Rekomendasi.....	59
BAB V ANALISA KEANDALAN KUANTITATIF.....	61
5.1 Analisa Keandalan Kuantitatif Sistem Pulverizer.....	61
5.1.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) <i>Grinding Roller</i>	61
5.1.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) <i>Grinding Roller</i>	62
5.1.3 Keandalan <i>Grinding Roller</i>	63
5.1.4 Laju Kegagalan (failure rate) Sistem <i>Grinding Roller</i>	64
5.1.5 Mean Time Between Failure (MTBF) <i>Grinding Roller</i>	65
5.2 Analisa Keandalan Kuantitatif <i>Hydraulic Pump</i>	65
5.2.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) <i>Hydraulic Pump</i>	65
5.2.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) <i>Hydraulic Pump</i>	66
5.2.3 Keandalan <i>Hydraulic Pump</i>	67
5.2.4 Laju Kegagalan (failure rate) Sistem <i>Hydraulic Pump</i>	68
5.2.5 Mean Time Between Failure (MTBF) <i>Hydraulic Pump</i>	69
5.3 Analisa Keandalan Kuantitatif <i>Gearbox</i>	69
5.3.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) <i>Gearbox</i> .	69
5.3.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) <i>Gearbox</i>	70
5.3.3 Keandalan <i>Gearbox</i>	71

5.3.4 Laju Kegagalan (failure rate) Sistem <i>Gearbox</i>	72
5.3.5 Mean Time Between Failure (MTBF) <i>Gearbox</i>	73
5.4 Analisa Keandalan Kuantitatif <i>Coal</i> <i>Feeder</i>	73
5.4.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) <i>Coal</i> <i>Feeder</i>	73
5.4.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) <i>Coal Feeder</i> ..	74
5.4.3 Keandalan <i>Coal Feeder</i>	75
5.4.4 Laju Kegagalan (failure rate) Sistem <i>Coal</i> <i>Feeder</i>	76
5.4.5 Mean Time Between Failure (MTBF) <i>Coal</i> <i>Feeder</i>	77
5.5 Analisa Keandalan <i>Pulverizer</i>	78
5.6 Keandalan dengan <i>Preventive</i> <i>Maintenance</i>	80
5.6.1 <i>Preventive Maintenance</i> pada <i>Grinding</i> <i>Roller</i> dengan berbagai Waktu Inspeksi.....	81
5.6.2 <i>Preventive Maintenance</i> pada <i>Hydraulic</i> <i>Pump</i> dengan berbagai Waktu Inspeksi	83
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	87
6.1 Kesimpulan.....	87
6.2 Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	90
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Data frekuensi kerusakan sistem <i>pulverizer</i> di PLTU Paiton Unit 3 pada bulan April 2012-Januari 2016.....	2
Gambar 2.1 <i>Bathtub Curve</i>	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1 Frekuensi kerusakan sistem pada <i>pulverizer</i> PLTU Paiton Unit 3 dari bulan April 2012-Januari 2016..	41
Gambar 4.2 <i>Table liner abrasive</i> pada permukaan.....	42
Gambar 4.3 <i>Grinding roller</i> aus.	42
Gambar 5.1 Grafik pdf <i>grinding roller</i>	62
Gambar 5.2 Grafik keandalan <i>grinding roller</i>	63
Gambar 5.3 Grafik laju kegagalan <i>grinding roller</i>	64
Gambar 5.4 Grafik pdf <i>hydraulic pump</i>	66
Gambar 5.5 Grafik keandalan <i>hydraulic pump</i>	67
Gambar 5.6 Laju kegagalan <i>hydraulic pump</i>	68
Gambar 5.7 Grafik pdf <i>gearbox</i>	70
Gambar 5.8 Grafik keandalan <i>gearbox</i>	71
Gambar 5.9 Grafik laju kegagalan <i>gearbox</i>	72
Gambar 5.10 Grafik pdf <i>coal feeder</i>	74
Gambar 5.11 Grafik keandalan <i>coal feeder</i>	75
Gambar 5.12 Grafik laju kegagalan <i>coal feeder</i>	76
Gambar 5.13 Grafik keandalan sistem <i>pulverizer</i>	78
Gambar 5.14 Grafik probabilitas keandalan subsistem <i>pulverizer</i>	79
Gambar 5.15 Grafik laju kegagalan subsistem <i>pulverizer</i>	80
Gambar 5.16 Grafik keandalan <i>grinding roller</i> setelah optimasi dengan berbagai interval waktu.....	83
Gambar 5.17 Grafik keandalan <i>hydraulic pump</i> setelah optimasi dengan berbagai interval waktu.....	84

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 <i>Data sheet pulverizer</i>	38
Tabel 4.2 <i>Operating context</i>	40
Tabel 4.3 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) grinding roller</i>	43
Tabel 4.4 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) hydraulic pump</i>	47
Tabel 4.5 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) gearbox</i>	48
Tabel 4.6 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) coal feeder</i>	51
Tabel 4.7 <i>RCM Decision Worksheet grinding roller</i>	53
Tabel 4.8 <i>RCM Decision Worksheet hydraulic pump</i>	54
Tabel 4.9 <i>RCM Decision Worksheet gearbox</i>	55
Tabel 4.10 <i>RCM Decision Worksheet coal feeder</i>	56
Tabel 4.11 <i>Rekomendasi maintenance task</i>	59
Tabel 5.1 <i>Waktu antar kegagalan grinding roller</i>	61
Tabel 5.2 <i>Waktu antar kegagalan hydraulic pump</i>	65
Tabel 5.3 <i>Waktu antar kegagalan gearbox</i>	69
Tabel 5.4 <i>Waktu antar kegagalan coal feeder</i>	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

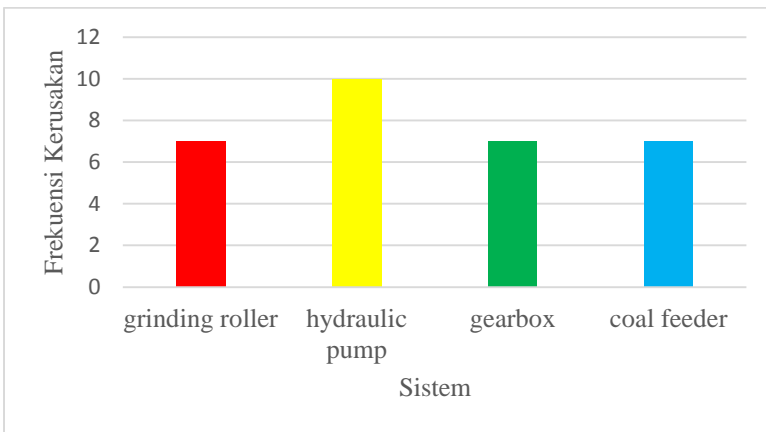
PLTU Paiton Unit 3 merupakan perusahaan yang bergerak di bidang produksi listrik menggunakan bahan baku batubara yang berada di daerah Paiton, Probolinggo. Produksi listrik yang dihasilkan mampu mencapai 850 MW. Untuk mencapai target produksi setiap harinya, proses produksi dilakukan setiap hari selama 24 jam selama 1 tahun. Dalam rangka mencapai target tersebut setiap harinya dituntut adanya kelancaran proses pengiriman batubara dari *silo* hingga mencapai *surface burner boiler* menggunakan mesin bernama *pulverizer*.

Pulverizer merupakan suatu mesin yang vital sebagai penunjang proses produksi listrik. *Pulverizer* digunakan untuk menggiling batu bara yang semula berbentuk bongkahan menjadi bentuk butiran halus dan selanjutnya dikirim ke *burner boiler* sebagai bahan utama proses pembakaran di dalam *boiler*. Di dalam *pulverizer* terdapat beberapa komponen yang menunjang sistem agar dapat berjalan dengan baik, apabila salah satu komponen mengalami masalah maka seluruh sistem akan berhenti. Apabila sistem berhenti maka proses produksi butiran batubara akan terhenti dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Untuk mencapai produktivitas usaha yang tinggi, PLTU Paiton Unit 3 selalu melakukan usaha untuk meningkatkan ketersediaan peralatan proses produksi. Kualitas dan kelancaran proses produksi sangat dipengaruhi oleh kondisi peralatan produksi, dalam hal ini adalah kondisi mesin-mesin produksi dan mesin pendukung. Kinerja suatu sistem atau instalasi produksi akan mengalami penurunan kondisi setelah beroperasi dalam jangka waktu tertentu. Terhentinya proses produksi akibat kerusakan mesin secara mendadak dapat menyebabkan

berhentinya proses selanjutnya sehingga akan mengurangi tingkat produksi. Untuk menanggulangi terjadinya kerugian seperti itu perlu diadakan tindakan perawatan terhadap peralatan produksi secara berkala, terjadwal dan tidak terjadwal. Dengan demikian usaha perawatan merupakan suatu hal yang sangat penting dalam mendukung produksi perusahaan.

Menurut data dari PLTU Paiton Unit 3 pada bulan April 2015 hingga Januari 2016, mesin mengalami perawatan cukup banyak sehingga mengakibatkan terganggunya proses produksi. Maka dari itu perlu dilakukan evaluasi pada sistem perawatan untuk mengurangi kerusakan pada komponen-komponen *pulverizer* serta nilai kerugian produksi dapat seminim mungkin. Data frekuensi kerusakan sistem *pulverizer* Unit 3 selama bulan Mei 2012 hingga Juli 2015 dapat dilihat pada gambar 1.1



Gambar 1.1 Data Frekuensi Kerusakan Sistem *Pulverizer* PLTU Paiton Unit 3 pada bulan Mei 2012-Januari 2016

Pada Gambar 1.1 sistem yang mempunyai frekuensi kerusakan terbanyak adalah *hydraulic oil pump*, *grinding roller*, *gearbox*, dan *coal feeder* sehingga objek penelitian difokuskan pada empat sistem tersebut.

Permasalahan terkait seringnya terjadi kerusakan pada komponen *Pulverizer* dapat diatasi dengan menentukan perancangan kegiatan perawatan yang tepat dengan memperhitungkan nilai keandalan keempat subsistem. Penelitian ini akan merancang kegiatan pemeliharaan yang tepat dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*. Komponen *pulverizer* yang sering mengalami kerusakan diidentifikasi penyebab kegagalannya agar mendapatkan rekomendasi perancangan kegiatan pada setiap komponen untuk menurunkan tingkat *breakdown* mesin dan *downtime* produksi. Kemudian, dari data kegagalan (*downtime*) dapat diketahui nilai keandalannya menggunakan perangkat lunak Weibull++6.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah bagaimana menentukan kegiatan perawatan yang tepat pada sistem *pulverizer* dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* untuk menurunkan *breakdown* mesin dan *downtime* produksi serta merumuskan nilai kuantitatif keandalan berdasarkan data *downtime pulverizer* PLTU Paiton Unit 3

1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah yang telah diuraikan maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menentukan kegiatan perawatan yang tepat terhadap *hydraulic pump, grinding roller, gearbox, dan coal feeder* dengan metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.
2. Menganalisa keandalan pada *hydraulic pump, grinding roller, gearbox, dan coal feeder* berdasarkan nilai kegagalan subsistem.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari luasnya permasalahan yang terjadi, maka dalam pengerjaan tugas akhir ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Komponen yang dianalisis adalah *hydraulic oil pump*, *grinding roller*, *gearbox*, dan *coal feeder* sistem *pulverizer* pada PLTU Paiton Unit 3
2. Data yang digunakan adalah historis kerusakan mesin dari bulan April 2015 sampai dengan Januari 2016
3. Faktor teknis jenis peralatan yang digunakan, tata cara pembongkaran dan pemasangan mesin tidak termasuk dalam pembahasan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan saran kepada perusahaan dalam melakukan kegiatan perawatan yang tepat pada sistem *pulverizer* yang diharapkan dapat menurunkan *downtime* produksi.
2. Memberikan informasi kepada mahasiswa mengenai metode *Reliability Centered Maintenance (RCM)* dan implementasinya dalam dunia industri.
3. Penerapan metode *preventive maintenance* menitikberatkan pada komponen sistem atau subsistem kritis yang menyebabkan kegagalan operasi sistem secara keseluruhan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Aktifitas perawatan merupakan salah satu hal yang penting untuk suatu mesin pada sebuah perusahaan. Aktifitas perawatan yang diterapkan kepada setiap komponen dapat berbeda-beda sesuai dengan karakteristik komponen yang tersedia. Jika suatu komponen diberikan perawatan yang tidak sesuai dengan karakteristiknya maka salah satu penyebabnya akan mengakibatkan mesin mengalami *downtime* yang panjang, proses produksi terhenti dan perusahaan mengalami kerugian. Penelitian-penelitian mengenai penentuan jenis perawatan yang efektif umumnya dilakukan untuk memperoleh nilai semimumum mungkin terkait dengan perawatan.

Salah satu penelitian mengenai jadwal pemeliharaan menggunakan RCM adalah Analisis Kebijakan Perawatan Mesin Cinnati Dengan Menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* Di PT. Dirgantara Indonesia [1]. Pada penelitian ini berisi tahap persiapan, tahap analisis sistem, tahap penentuan kategori kegagalan, selanjutnya tahap pengambilan keputusan.

Penelitian yang menggunakan metode RCM adalah Perancangan RCM Untuk Mengurangi *Downtime Mesin* Pada Perusahaan Manufaktur Aluminium [2]. Pada penelitian ini berisi tahap analisis sistem yang sering mengalami kegagalan, tahap identifikasi kegagalan dengan membuat *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengkategorikan kegagalan yang terjadi pada sistem, tahap penentuan konsekuensi kegagalan, dan tahap pengambilan keputusan.

Penelitian lainnya yang menggunakan metode RCM adalah *Reliability Centered Maintenance Methodology for Goliath Crane of Transmission Tower* [3]. Pada penelitian ini digunakan *RCM Information Worksheet* yang berisi fungsi, kegagalan fungsi, modus kegagalan dan efek kegagalan pada

setiap subsistem. Informasi tersebut digunakan untuk menentukan maintenance task yang tepat untuk setiap modus kegagalan yang terjadi menggunakan *RCM Decision Worksheet*.

Pada tugas akhir ini maintenance task yang tepat ditentukan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Komponen yang sering terjadi kerusakan diidentifikasi penyebab kegagalannya kemudian dianalisa agar mendapatkan rekomendasi perancangan kegiatan perawatan yang tepat pada setiap komponen untuk menurunkan tingkat breakdown mesin dan downtime produksi.

2.2 Perawatan

Suatu komponen atau sistem yang bekerja terus menerus akan mengalami penurunan kinerja dan keandalan. Perawatan merupakan serangkaian aktifitas untuk memperbaiki, mengganti, dan memodifikasi suatu komponen atau system [4]. Perawatan bertujuan untuk menjaga atau memperbaiki agar komponen tersebut dapat berfungsi seperti spesifikasi yang diinginkan dalam waktu dan kondisi tertentu.

2.2.1 Definisi Perawatan

Perawatan menurut *The American Management Association, Inc.* adalah kegiatan rutin, pekerjaan berulang yang dilakukan untuk menjaga kondisi fasilitas produksi agar dapat dipergunakan sesuai dengan fungsi dan kapasitasnya secara efisien. Perawatan juga didefinisikan sebagai suatu kombinasi dari setiap tindakan yang dilakukan untuk menjaga barang atau untuk memeliharanya sampai pada suatu kondisi yang bisa diterima.

Di Indonesia, istilah pemeliharaan itu sendiri telah diadopsi oleh Kementerian Teknologi pada bulan April 1970, menjadi teroteknologi. Teroteknologi adalah kombinasi dari manajemen, keuangan, perekayasa dan kegiatan lain yang diterapkan bagi asset fisik untuk mendapatkan biaya siklus hidup ekonomis. Hal ini berhubungan dengan spesifikasi dan rancangan untuk keandalan serta mampu-pelohara dari pabrik, mesin-mesin,

peralatan, bangunan dan struktur, dan instalasinya, pengetesan, pemeliharaan, modifikasi dan penggantian, dengan umpan balik informasi untuk rancangan, unjuk kerja dan biaya (Corder, 1992).

2.2.2 Tujuan Perawatan

Tujuan dilakukan tindakan perawatan adalah sebagai berikut:

1. Memperpanjang usia kegunaan aset (yaitu setiap komponen dari fasilitas produksi)
2. Menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi secara teknis dan ekonomis
3. Menjamin kesiapan operasional dari seluruh fasilitas yang diperlukan dalam kegiatan darurat setiap waktu, contoh: unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan tim penyelamat.
4. Menjamin keselamatan, keamanan dari pengguna yang berada dalam lingkungan proses produksi.

2.2.3 Jenis Perawatan

Secara garis besar perawatan dapat dikategorikan dalam dua jenis, yaitu:

1. Pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*)
2. Pemeliharaan korektif (*corrective maintenance*)

2.2.3.1 Preventive Maintenance

Preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menentukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. *Preventive maintenance* sangat efektif dalam menghadapi fasilitas produksi yang termasuk dalam critical unit apabila konsekuensi dari kegagalan tersebut dapat membahayakan keselamatan dari pekerja dan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan, menyebabkan kemacetan pada seluruh produksi dan modal yang

ditanamkan dalam fasilitas tersebut cukup besar atau harganya mahal.

2.2.3.2 Corrective Maintenance

Corrective maintenance merupakan kegiatan pemeliharaan atau perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan. Perawatan ini dilakukan karena terdapat kinerja sistem yang tidak sesuai dengan standar yang ada. *Corrective maintenance* bertujuan untuk mengembalikan performa dan standar kinerja dari suatu komponen atau sistem ke kondisi semula. Pada dasarnya suatu perusahaan harus memiliki strategi yang baik dalam melakukan kegiatan perawatan terhadap aset yang dimiliki. Strategi yang baik akan meningkatkan keandalan dari komponen atau mesin.

2.3 Reliability Centered Maintenance (RCM)

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan sebuah proses sistematis yang dilakukan untuk menjamin seluruh fasilitas fisik dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan desain dan fungsinya [5]. RCM akan membawa kepada sebuah program perawatan yang focus pada pencegahan terjadinya jenis kegagalan yang sering terjadi. Pada dasarnya RCM menjawab 7 pertanyaan utama terhadap sistem yang diteliti. Ketujuh pertanyaan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Apakah fungsi dari asset dan standar kinerja yang terkait dengan fungsi itu sesuai dengan konteks operasinya saat ini (*system function*)?
2. Bagaimana sistem tersebut gagal memenuhi fungsinya
3. Apa penyebab dari setiap kegagalan fungsi tersebut
4. Apakah yang terjadi pada saat penyebab kegagalan tersebut muncul
5. Bagaimana kegagalan tersebut berpengaruh
6. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah setiap kegagalan

7. Apa yang harus dilakukan jika tidak ditemukan tindakan proaktif yang sesuai

2.3.1 Tujuan Reliability Centered Maintenance

Tujuan dari RCM adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintain ability*) baik
2. Memperoleh informasi yang penting untuk melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik
3. Mengembangkan sistem perawatan yang dapat mengemablikan kepada keandalan dan keandalan seperti semula dari deteriorasi yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan
4. Mewujudkan semua tujuan diatas dengan biaya minimum.

2.7.2 Langkah-Langkah Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)

Adapun langkah-langkah penerapan metode Reliability Centered Maintenance (RCM) diantaranya adalah [6]:

1. Pemilihan Sistem dan Pengumpulan Informasi (*System Selection and Information Collection*)
 Pemilihan sistem dapat didasarkan pada beberapa aspek kriteria yaitu:
 - a. Sistem yang berkaitan dengan masalah keselamatan (*safety*) dan lingkungan.
 - b. Sistem yang memiliki biaya dan tindakan yang tinggi
 - c. Sistem yang memiliki kontribusi yang besar atas terjadinya *shutdown*.

Sedangkan dokumen atau informasi yang dibutuhkan dalam analisis RCM antara lain:

- a. *Piping & Instrumentation Diagram (P&ID)* merupakan ilustrasi skematik dari hubungan fungsi antara perpipaan, instrumentasi, komponen peralatan dan sistem.

- b. *Schematic/Block Diagram* merupakan sebuah gambaran dari sistem, rangkaian atau program yang masing-masing fungsinya diwakili oleh gambar kotak berlabel dan hubungan diantaranya digambarkan dengan garis penghubung.
 - c. *Vendor manual* yaitu berupa dokumen data dan informasi mengenai desain dan operasi tiap peralatan (*equipment*) dan komponen.
 - d. *Equipment History* yaitu kumpulan data kegagalan (*failure*) komponen dan peralatan dengan data *corrective maintenance* yang pernah digunakan.
- 2. Definisi Batas Sistem (*System Boundary Definition*)
 Dalam suatu fasilitas produksi atau pabrik jumlah sistem yang tersedia sangat banyak oleh karena itu perlu dilakukan definisi batas sistem. Hal ini dilakukan untuk menjelaskan batasan-batasan suatu sistem yang akan dianalisis dengan RCM sehingga semua fungsi dapat diketahui dengan jelas. Perumusan *system boundary definition* yang baik dan benar akan menjamin keakuratan proses analisis sistem.
- 3. Deskripsi Sistem dan Diagram Blok Fungsional (*System Description and Functional Block Diagram*)
 Deskripsi sistem dan diagram blok merupakan representasi dari fungsi-fungsi utama sistem berupa blok-blok yang berisi fungsi-fungsi dari setiap subsistem yang menyusun sistem tersebut sehingga dibuat tahapan identifikasi detail dari sistem yang meliputi:
 - a. Deskripsi sistem
 Uraian sistem yang menjelaskan cara kerja sistem serta penggunaan instrumen yang ada dalam sistem.
 - b. *Functional Block Diagram*
 Interaksi antara satu blok diagram fungsi dengan blok diagram fungsi lainnya.

c. Masukan dan keluaran sistem

Pengembangan fungsi subsistem memungkinkan kita untuk melengkapi dan mendokumentasikan fakta dari elemen-elemen yang melintasi batas sistem. Elemen-elemen melintasi sistem dapat berupa energi, panas, sinyal, fluida, dan sebagainya. Beberapa elemen berperan sebagai input dan beberapa elemen berperan sebagai output yang melintasi batas sistem.

d. *System Work Breakdown System (SWBS)*

SWBS digunakan untuk menggambarkan kelompok bagian-bagian peralatan yang menjalankan fungsi tertentu.

4. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah proses mengidentifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* meliputi pengidentifikasian yaitu:

- a. *Failure Cause*: penyebab terjadinya failure mode
- b. *Failure effect*: dampak yang ditimbulkan failure mode, failure effect ini dapat ditinjau dari 3 sisi level yaitu:

- Komponen / local
- Sistem
- *Plant*

5. *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Penyusunan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* merupakan proses yang kualitatif yang digunakan untuk mengetahui konsekuensi yang ditimbulkan oleh masing-masing *failure mode*. Tujuan *Reliability Centered Maintenance (RCM)* adalah mengklasifikasikan *failure mode* kedalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya [6]. Proses RCM

mengklasifikasikan konsekuensi kegagalan sebagai berikut [8]:

- a. *Hidden Failure Consequence*
Kondisi ini terjadi apabila konsekuensi kegagalan yang terjadi dapat diketahui oleh operator dalam kondisi normal.
- b. *Safety Consequence*
Kegagalan mempunyai konsekuensi operasional apabila kegagalan yang terjadi dapat melukai, membahayakan atau bahkan membunuh seseorang
- c. *Environmental Consequence*
Kegagalan mempunyai konsekuensi lingkungan apabila kegagalan yang terjadi dapat melanggar peraturan atau standar lingkungan perusahaan, wilayah, nasional atau internasional.
- d. *Operational Consequence*
Kegagalan mempunyai konsekuensi operasional apabila kegagalan yang terjadi dapat mempengaruhi kapabilitas operasional seperti hasil produksi, kualitas produksi, kepuasan pelanggan, dan biaya tambahan dalam perbaikan.

Selanjutnya RCM memusatkan perhatian kepada aktifitas perawatan atau *maintenance task* yang berpengaruh untuk mencegah atau mengatasi setiap *failure mode* yang terjadi. Teknik menangani kegagalan dibagi menjadi dua yaitu *proactive task* dan *default action*. *Proactive task* merupakan pekerjaan yang dilakukan sebelum terjadinya kegagalan untuk mencegah peralatan masuk dalam keadaan gagal. RCM membagi *proactive task* kedalam tiga kelompok berikut:

- a. *Scheduled restoration task* mencakup kegiatan rekondisi untuk mengembalikan kemampuan asal atau melakukan *overhaul* pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan tanpa memandang kondisi komponen pada saat perbaikan. Kegiatan ini mencakup bentuk *interval based*

maintenance dan *preventive maintenance*. Aktivitas perawatan ini dapat digunakan jika suatu komponen memenuhi keadaan-keadaan berikut:

- Terdapat umur komponen yang dapat diidentifikasi dimana suatu komponen mengalami peningkatan yang cepat pada *probability of failure*.
 - Dapat dilakukan perbaikan untuk menanggulangi kegagalan yang terjadi.
- b. *Scheduled discard task* mencakup kegiatan untuk mengganti komponen dengan komponen baru pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan atau sesuai interval waktu tertentu tanpa memandang kondisi komponen saat penggantian. Aktivitas perawatan ini dapat digunakan jika suatu komponen memenuhi keadaan-keadaan berikut:
- Terdapat umur komponen yang dapat diidentifikasi dimana suatu komponen mengalami peningkatan yang cepat pada *probability of failure*.
 - Perlu dilakukan penggantian komponen dengan komponen baru untuk menanggulangi kegagalan yang terjadi.
- c. *Scheduled on condition task* mencakup kegiatan pengecekan sehingga dapat dilakukan untuk mengurangi atau menghilangkan konsekuensi kegagalan yang terjadi. Kegiatan ini mencakup semua bentuk *condition monitoring* dan *predictive maintenance*. Aktivitas perawatan ini dapat digunakan jika suatu komponen memenuhi keadaan-keadaan berikut:
- Suatu komponen dapat dideteksi potensi keagalannya dengan jelas.
 - Dapat dilakukan *monitoring* komponen.
- Selanjutnya, *default action* adalah aktifitas yang dilakukan pada saat peralatan sudah masuk dalam keadaan gagal dan dipilih ketika tidak ditemukan *proactive task* yang efektif atau dengan kata lain perawatan atau penggantian baru dilakukan ketika komponen tersebut telah rusak. RCM membagi tiga kategori besar untuk *default action* yaitu sebagai berikut:

- a. *Failure Finding*, termasuk memeriksa fungsi tersembunyi untuk mengetahui apakah fungsi sudah mengalami kegagalan. Aktivitas ini hampir sama dengan *on condition task*, namun dilakukan saat sistem tersebut sudah gagal berfungsi. Aktivitas perawatan ini dapat digunakan jika suatu komponen memenuhi keadaan-keadaan berikut:
 - Terdapat kemungkinan untuk dilakukan aktivitas perawatan.
 - Aktivitas perawatan tidak meningkatkan resiko *multiple failure*.
- b. *Redesign*, mencakup perubahan dari kemampuan suatu sistem. Termasuk di dalamnya adalah modifikasi terhadap peralatan atau prosedur kerja. Aktivitas perawatan *redesign* dapat dilakukan dengan cara mengganti spesifikasi komponen, menambahkan komponen baru, mengganti mesin dengan tipe yang lain atau melakukan relokasi mesin.
- c. *No schedule maintenance*, tidak melakukan apapun untuk mengantisipasi atau mencegah modus kegagalan yang terjadi, dan kegagalan dibiarkan terjadi baru kemudian diperbaiki. Keadaan ini disebut juga dengan *run to failure*. Aktivitas perawatan ini dapat digunakan jika suatu komponen memenuhi keadaan-keadaan berikut:
 - Tidak dapat ditemukan *scheduled task* yang sesuai dan kegagalan tidak memiliki konsekuensi keamanan dan lingkungan.
 - Biaya *preventive task* lebih besar daripada biaya jika komponen tersebut mengalami kegagalan.

2.4 Laju Kegagalan

Laju kegagalan (λ) adalah banyaknya kegagalan atau kerusakan yang terjadi per satuan waktu. Laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan

yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi komponen, perangkat, atau sistem. [9]

Secara matematis, laju kegagalan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.1)$$

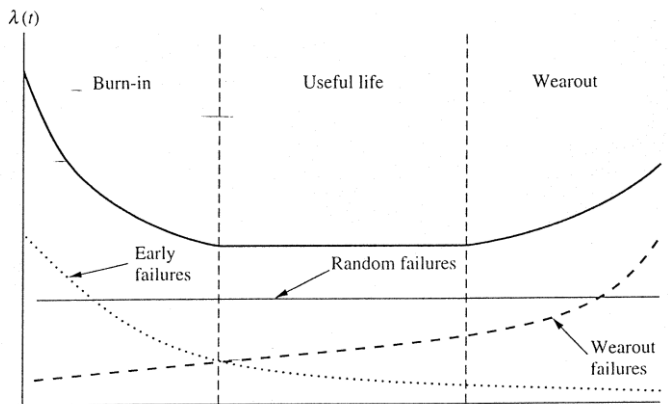
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{T(t)} \quad (2.2)$$

Dimana : f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total waktu operasi

2.4.1 Karakteristik Kegagalan

Menurut laju kerusakannya, klasifikasi distribusi dibagi menjadi 3 yaitu: Early Life (Burn In), Useful Life, dan Wear Out. Perilaku laju kerusakan terhadap waktu sangat berhubungan dengan penyebab kerusakan. Kerusakan yang terjadi dalam suatu sistem atau komponen mengalami fluktuasi sesuai dengan kemampuan material. Bentuk karakteristik laju kegagalan dalam teori keandalan untuk sebuah sistem maupun komponen secara otomatis ditampilkan dalam Bathtub Curve, seperti pada gambar



Gambar 2.1 *Bathtub Curve*

Pada grafik di atas terdapat tiga buah daerah kerusakan dominan. Ketiga daerah tersebut adalah:

1. *Burn In Zone (Early Life)*

Daerah ini adalah periode permulaan bekerjanya peralatan dengan periode waktu yang pendek dibanding dengan periode lain. Pada kurva ditunjukkan bahwa laju kerusakan menurun dengan bertambahnya waktu. Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan karena kesalahan pada saat proses manufacturing dan fabrikasi, pengoperasian yang tidak tepat, belum terampilnya operator sehingga perlu beberapa penyesuaian lebih lanjut.

2. *Useful Life Time Zone*

Pada periode ini mempunyai laju kerusakan yang rendah dan hampir konstan. Kerusakan yang terjadi bersifat random dan dipengaruhi kondisi lingkungan bekerjanya peralatan. Periode ini merupakan periode pemakaian peralatan secara normal.

3. *Wear Out Zone*

Periode ini menunjukkan kenaikan laju kerusakan yang cepat dengan bertambahnya waktu pemakaian. Kerusakan ini disebabkan oleh korosi, oksidasi, keausan, fatigue, dan lain sebagainya. Hal ini disebabkan keausan peralatan dan pola kerusakannya tidak dapat diprediksi.

2.4.2 Maintainability

Maintainability adalah probabilitas komponen atau sistem yang mengalami kegagalan dapat diperbaiki dan kembali beroperasi secara efektif dalam kurun waktu tertentu dimana saat dilakukan perbaikan harus sesuai dengan standar operasi yang berlaku. [10]

2.4.3 Availability

Availability adalah parameter yang berguna untuk mendeskripsikan kemampuan suatu komponen atau sistem untuk menjalankan fungsinya dalam waktu yang telah ditentukan. [11]

Secara matematis, *availability* dapat dituliskan dalam persamaan:

$$A(i) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (2.3)$$

Dimana:

MTBF = Mean Time Before Failure (waktu rata-rata antar kegagalan)

MTTR = Mean Time to Repair (waktu rata-rata perbaikan kegagalan)

2.5 Distribusi Data Waktu Kegagalan

2.5.1 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk laju kegagalan konstan (*constant failure rate*) atau dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Terdapat dua parameter dalam distribusi eksponensial, yaitu t (fungsi waktu) dan t_0 (parameter lokasi). Apabila t_0 bernilai 0, maka menjadi distribusi eksponensial satu parameter. [12]

Terdapat beberapa fungsi matematis dalam distribusi eksponensial yaitu:

- Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (2.4)$$

- Fungsi keandalan

$$R(t) = e^{-\lambda(t-t_0)} \quad (2.5)$$

- Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.6)$$

- *Maintainability*

$$M(t) = 1 - \exp(\lambda(t - t_0)) \quad (2.7)$$

- *Mean Time Between Failure*

$$MTBF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.8)$$

2.5.2 Distribusi Weibull

Distribusi weibull merupakan distribusi empiris yang paling banyak digunakan dan hampir muncul pada semua karakteristik kegagalan. Distribusi Weibull memiliki tiga parameter, yaitu:

- *Location or time delay parameter* (γ)
- *Shape parameter, or slope* (β)
- *Scale parameter* (η)

Apabila *location parameter* (γ) bernilai 0, maka distribusi tersebut menjadi distribusi Weibull 2 parameter.

Terdapat beberapa fungsi matematis dalam distribusi Weibull yaitu:

- Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.9)$$

- Fungsi keandalan

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.10)$$

- Fungsi laju kegagalan (*failure rate*)

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (2.11)$$

- *Maintainability*

$$M(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.12)$$

2.5.2 Distribusi Normal

Distribusi normal cocok digunakan dalam memodelkan fenomena keausan. Distribusi ini juga dapat digunakan untuk

menganalisa probabilitas Lognormal. Distribusi normal memiliki beberapa parameter diantaranya adalah:

- *Mean (arithmetic average)* ($t = \mu$)
- *Median (t_{50} or time at 50% failure)* ($t = \mu$)
- *Mode (highest value of $f(t)$)* ($t = \mu$)
- *Location parameter* (μ)
- *Shape parameter* (σ)
- *s (estimate of σ)* ($t_{50} - t_{16}$)

Terdapat beberapa fungsi matematis dalam distribusi Normal, yaitu:

- Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.13)$$

- Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - M(t) \quad (2.14)$$

- Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{M(t)} \quad (2.15)$$

- *Maintainability*

$$M(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.16)$$

- *Mean Time Between Failure*

$$MTBF = \mu \quad (2.17)$$

2.5.3 Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal memiliki beberapa parameter, diantaranya adalah:

- *Mean* $t = \exp\left[\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right)\right]$
- *Median* $t = e^\mu$
- *Mode* $t = \exp(\mu - \sigma^2)$
- *Location parameter* (e^μ)

- *Shape parameter* (σ)
- *s (estimate of σ)* ($\ln \frac{t_{50}}{t_{16}}$)

Terdapat beberapa fungsi matematis dalam distribusi lognormal yaitu:

- Fungsi distribusi kegagalan

$$f(t) = \frac{1}{t \cdot \sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2\sigma^2} [\ln t - \mu]^2 \right] \quad (2.18)$$

- Fungsi keandalan

$$R(t) = 1 - M(t) \quad (2.19)$$

- Fungsi laju kegagalan

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - M(t)} \quad (2.20)$$

- *Maintainability*

$$M(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{t} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.21)$$

- *Mean Time Between Failure*

$$MTBF = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (2.22)$$

2.5.4 Keandalan dengan *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance dapat dideskripsikan sebagai perawatan berkala yang dilakukan oleh individu yang terlibat dengan perawatan untuk menjaga suatu peralatan agar tetap dalam kondisi yang baik saat dioperasikan dengan menyediakan pemeriksaan, deteksi dan koreksi yang sistematis terhadap kegagalan yang belum maupun akan terjadi. [13]

Tujuan utama dilakukannya *preventive maintenance* adalah:

1. Meningkatkan *usefull life* peralatan.
2. Mengurangi kerusakan pada komponen penting.
3. Memungkinkan adanya perencanaan dan penjadwalan yang baik untuk kegiatan *maintenance*.

4. Meminimalkan kerugian produksi akibat kegagalan alat.

Kegiatan *preventive maintenance* dapat meningkatkan keandalan suatu sistem atau komponen [15]. Perumusan dari keandalan dengan *preventive maintenance* dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$R_m(t) = R(t) \quad \text{untuk } 0 \leq t \leq T \quad (2.23)$$

$$R_m(t) = R(T) R(t - T) \quad \text{untuk } T \leq t \leq 2T \quad (2.24)$$

Dimana:

t = waktu

T = interval waktu penggantian kerusakan

R(t) = keandalan (*reliability*) dari sistem tanpa *preventive maintenance*

R(T) = peluang dari keandalan hingga *preventive maintenance* pertama

R(t-T) = peluang dari keandalan antara waktu t-T setelah sistem dikembalikan dari kondisi awal pada saat T.

R_m(t) = keandalan (*reliability*) dari sistem dengan *preventive maintenance*

Secara umum persamaannya adalah:

$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \quad \text{untuk } nT \leq t \leq (n + 1)T \quad (2.25)$$

Dimana:

n = jumlah perawatan

R(T)ⁿ = probabilitas ketahanan sampai dengan *preventive maintenance* ke-n

R(t-nT) = probabilitas ketahanan selama jangka waktu t-nT yang telah ditentukan sebelumnya pada kondisi awal

Dimana:

$$R(t - nT) = \exp \left[- \left(\frac{t - nT}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.26)$$

2.6 Studi Pendahuluan

2.6.1 Gambaran Umum Perusahaan

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) unit 3 yang berada pada komplek PLTU Paiton merupakan pembangkit listrik yang dioperasikan oleh PT. *International Power Mitsui Operation and Maintance Indonesia* atau disingkat dengan PT. IPMOMI. PLTU unit 3 berkapasitas 815 NMW yang beroperasi rata-rata 92% *capacity factor* per tahun, PLTU Unit 3 mengkonsumsi batubara rata-rata 4,3 juta ton per tahun. Batubara tersebut di datangkan dari tambang Adaro Kalimantan Timur dengan menggunakan kapal yang bermuatan 40.000 DWT - 49.000 DWT.

PLTU Paiton unit 3 dibangun dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Jawa dan Bali yang semakin meningkat. Proyek ini merupakan implementasi dari kebijakan pemerintah Indonesia dalam pertumbuhan, dersifikasi, dan konservasi energi dengan bahan bakar batubara yang ada di Indonesia sehingga mengurangi ketergantungan minyak bumi.

PT. IPMOMI didirikan pada bulan Januari 1996 sebagai anak perusahaan *Edison Mission Energy* (EME) dengan nama PT. *Edison Mission Operation and Maintenace* di Irine, California. *Edison Mission Energy* adalah bagian dari *Edison Group*, anak perusahaan yang secara keseluruhan dimiliki oleh *Edison International*. *Edison Mission Energy* kini dikenal secara international sabagai pelopor pengembangan dan pengoperasian sumber tenaga alternatif.

PT. *Paiton Energy* memiliki subuah perjanjian berupa *Operation and Maintenance Agreement* (OMA) dengan PT. *Edison Mission Operation and Maintenance* (EMOM) Asia, yang isinya berupa penyerahaan tanggung jawab untuk mengoperasikan dan memelihara proyek *Paiton Energy* selama

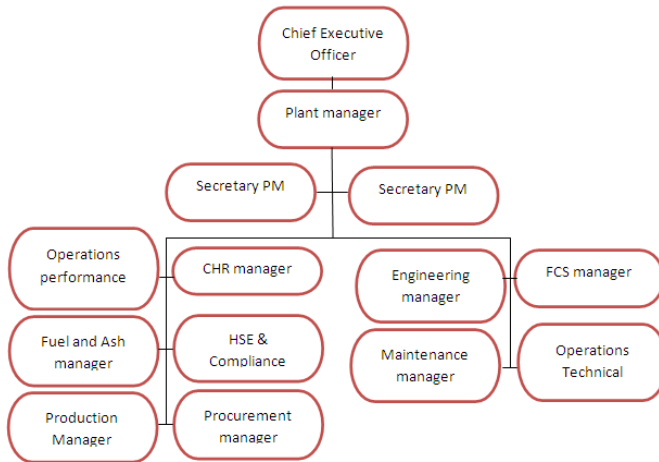
masa prekomersil dan masa komersil. Kemudian pada bulan Januari 1996, EMOM yang berpusat di Singapura mendirikan PT. *Edison Mission Operation and Maintenance Indonesia* (PT. EMOMI) untuk menjalankan dan mengoperasikan proyek paiton selama masa prekomersil dan masa komersil. Proyek tersebut mendapatkan persetujuan presiden No. 396/I/PMA/1995 tanggal 19 Juli 1995 untuk PT. EMOMI bidang usaha jasa pengoperasian dan perawatan pembangkit tenaga listrik di Jakarta dengan daerah operasi di seluruh Indonesia. Kemudian disahkan dengan Akte Notaris tanggal 21 Januari 1997 No. 98 oleh Soetjipto, SH. Dengan surat Kep. No. C2-5083-HT.01.01.TH'97, tanggal 16 Juni 1997.

Namun sejak tanggal 17 Desember 2004, saham *Edison Mission* dijual kepada *International Power-Mitsui*. Oleh karena itu sekarang EMOMI merupakan bagian dari *International Power-Mitsui*. Selain sebagai operator PLTU Paiton Unit 3, *Internatioanal Power Mitsui Operatioan and Maintenance Indonesia. Mitsui & CO.* adalah perusahaan dagang Jepang yang bergerak di beberapa bidang komoditas bisnis anatra lain sistem tenaga dan energi, besi dan baja, mesin-mesin berat, elektronik, bahan-bahan kimia, makanan, tekstil, dan real estate.

2.6.2 Struktur Organisasi

Struktur organisasi di PT. IPMOMI, PLTU Paiton Unit 3, 7, dan 8 dibagi atas delapan departemen yaitu : *Fuel and Ash Department, Production Manager, Community and Human Resources Department, Healthy Safety System and Compliance Department, Procurement Department, Engineering Manager, Maintenance Manager, Finance* dan *Corporate Service Department* yang masing-masing departemen dipimpin oleh seorang manager yang membawahi *supervisor* atau *Shift Supervisor, Engineering, Senior Optech, Secretary Technician* serta beberapa *Administration*. Keseluruhan Departement dipimpin oleh *Plant Manager* yang bertanggung jawab kepada

seorang perwakilan dari EME (mentor). Struktur umum PT. IPMOMI sebagai berikut :



Gambar 2.2 Struktur Organisasi di PLTU Paiton Unit 3

Berdasarkan gambar di atas, sistem pemeliharaan yang ada di PLTU Unit 3 berada di bawah naungan *Engineering Departement* dan *Maintenance Departement* yang dipimpin oleh seorang *engineering manager* dan *maintenance manager*. Kedua departemen ini saling bekerja sama dalam hal pemeliharaan mesin, perbaikan mesin, analisa kerusakan dan kegagalan mesin serta melakukan modifikasi mesin apabila diperlukan. Seorang *engineering manager* memiliki tanggung jawab, yaitu:

- Bertanggung jawab dalam hal pemenuhan administrasi.
- Bertanggung jawab terhadap seluruh kegiatan perbaikan dan pemeliharaan di PLTU Paiton Unit 3 untuk memastikan bahwa *plant* dalam kondisi siap beroperasi dan memenuhi kebutuhan listrik setiap harinya.
- Bertanggung jawab untuk memenuhi sistem manajemen mutu dan lingkungan bersama-sama dengan departemennya.

- d. Bertanggung jawab untuk memonitor seluruh peralatan di plant.

Sedangkan seorang *maintenance manager* memiliki tugas dan tanggung jawab, yaitu:

- a. Bertanggung jawab untuk pemenuhan bagian pemeliharaan dan perbaikan.
- b. Bertanggung jawab merencanakan, mengorganisasikan, dan mengendalikan seluruh kegiatan perbaikan dan pemeliharaan di PLTU Paiton Unit 3 untuk memastikan bahwa seluruh *plant* dalam kondisi siap untuk memenuhi kebutuhan listrik setiap harinya.
- c. Bertanggung jawab untuk memenuhi sistem manajemen mutu dan lingkungan bersama-sama dengan departemennya.

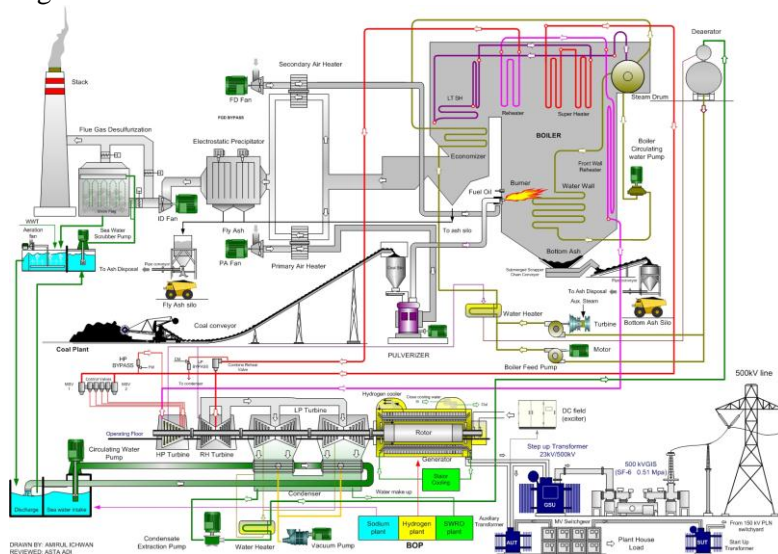
2.7 Studi Pendahuluan

2.7.1 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Prinsip kerja PLTU Paiton unit 3 secara umum adalah pembakaran batubara pada *boiler* untuk memanaskan air dan mengubah air tersebut menjadi uap yang sangat panas yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan tenaga listrik dari kumparan medan magnet di generator. Sistem pengaturan yang digunakan pada *power plant* ini menggunakan sistem pengaturan Loop tertutup, dimana air yang digunakan untuk beberapa proses merupakan putaran air yang sama, hanya perlu ditambahkan jika memang level yang ada kurang dari set pointnya. Bentuknya saja yang berubah, pada level tertentu berwujud air, tetapi pada level yang lain berwujud uap.

Proses berawal dari air yang dipompa ke kondenser, kemudian dari kondenser dipompa ke *polisher* untuk diproses agar korosi dan pengendapan hilang. Setelah itu dipompa ke *feed water heater* 1, 2, 3 dan 4 untuk dipanaskan kemudian dialirkan ke deaerator untuk menghilangkan gas-gas O_2 dan CO_2 . Air yang sudah hilang kandungan gas-gas O_2 dan CO_2 tersebut kemudian dipompa lagi menuju ke *feed water heater* 6, 7, 8 yang selanjutnya akan diteruskan di *economizer* untuk dinaikan

temperaturnya. Setelah suhunya naik, selanjutnya menuju ke *steam drum* untuk dipisahkan antara uap dan air, setelah itu menuju ke *super heated steam* dan akan melalui *first super heater* dan *secondary super heater* sehingga membentuk *super heated steam* yang akan digunakan untuk memutar *high pressure* turbin. *Super heated steam* dengan tekanan yang telah turun tersebut perlu pemanasan ulang yang terjadi di *reheater* kemudian dari *reheater* ini *super heated steam* akan dikembalikan untuk memutar *intermediate pressure* dan *low pressure* turbin. Didalam turbin ini akan terjadi konversi energi thermal dari steam menjadi energi mekanis berotasi yang menyebabkan rotor turbin berputar. Perputaran Rotor ini yang akan menggerakkan generator dan akhirnya oleh generator energi mekanis akan diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.3 Skema pembangkitan listrik di PLTU Paiton Unit 3

2.7.2 Pengertian Pulverizer

Pulverizer adalah mesin yang digunakan untuk menghancurkan dan menggiling batubara yang semula berbentuk bongkahan menjadi butiran halus berukuran 200 mesh atau $74\mu\text{m}$ [14]. Butiran halus batubara selanjutnya dihembus oleh udara panas bertekanan tinggi agar masuk ke dalam ruang bakar *boiler*. Tujuan penghalusan batubara agar batubara lebih mudah terbakar di dalam *boiler* sehingga pembakaran sempurna dapat tercapai. Fungsi yang lain adalah mengeringkan batubara sehingga mudah dihaluskan dan dibakar; mengklasifikasikan / menyaring batubara untuk memastikan bahwa batubara yang masuk ke dalam *boiler* benar-benar lembut.

2.7.3 Prinsip Kerja Pulverizer

Mesin penggiling batubara ini terdiri atas sebuah meja atau mangkuk dan sejumlah roller penggiling. Batu bara masuk mesin penggiling melewati bagian atas, dan langsung masuk ke dalam mangkuk. Gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran mangkuk tersebut mendorong batu bara ke sisi luar. Pada gilirannya gerakan tadi akan menyebabkan batubara terlindas oleh *roller*. Setiap roller dilengkapi dengan pegas atau alat-alat hidrolik yang mencegah terjadinya kontak langsung antara *roller* dengan mangkuk alat penggiling tersebut. Kombinasi antara putaran mangkuk dengan putaran *roller* itulah yang akan menggiling batubara menjadi halus. Batubara yang terlalu keras (yang tidak bisa digiling) akan terdesak ke sisi luar dan keluar melalui sebuah lobang dan ditampung di sebuah bejana atau *hopper* yang selanjutnya dibuang.

Pada *pulverizer*, udara bertekanan (udara primer) digunakan untuk mendorong bubuk batubara dari *pulverizer* menuju *boiler*. Udara primer ini (yang dihasilkan oleh *Primary Air Fan*) terlebih dulu akan melewati *air preheater* yang kemudian masuk ke *pulverizer* melalui sirip-sirip yang ada di sekeliling mangkuk akan menyebabkan udara berpusar di atas batubara. Udara panas itu mengeringkan batubara, sehingga batu

bara itu mudah digiling, disamping juga menyebabkan bubuk batubara itu berpusar-pusar didalam *pulverizer*.

Campuran antara batubara itu didorong keatas kemudian hembusan keras dari campuran udara dan batubara itu juga menyebabkan butir-butir batubara yang berukuran besar terlempar kembali ke mangkuk untuk digiling lagi. Sebuah penyaring (*classifier*) yang terletak dibagian atas memiliki lubang yang hanya dapat dilewati oleh bubuk batubara yang benar-benar lembut sehingga dapat dialirkan kedalam *boiler*. Campuran udara bertekan dan batubara yang keluar dari *pulverizer* atau mesin penggiling ini akan didorong menuju *boiler*.

Hal yang penting diperhatikan dalam menggunakan *pulverizer* ini adalah suhu dari udara primer. Temperatur udara yang terlalu tinggi dapat menyalakan batubara dari dalam pulveriser dan bisa menyebabkan ledakan. Jika suhunya terlalu rendah, maka batubara tidak bisa kering dengan sempurna dan sulit dihaluskan. Untuk menjaga suhu ideal (kira-kira 65 °C) yaitu dengan cara mencampurkan udara panas (udara primer yang dilewatkan melalui *air preheater*) dengan udara dingin yang tidak dipanaskan dan dikontrol oleh *damper*.

2.7.4 Bagian-bagian Pulverizer

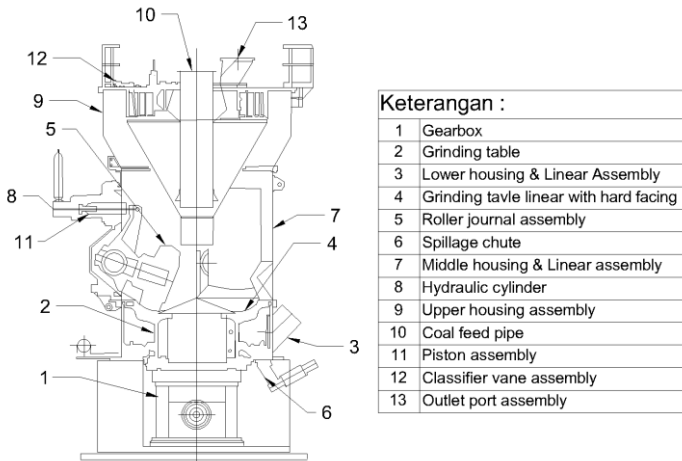
1. Gearbox

Gearbox pada *pulverizer* berfungsi untuk mentransfer daya dari *driving motor* menuju *grinding table* dalam kecepatan rendah. *Gearbox* terletak di bawah *grinding table* dan digerakkan oleh sebuah motor induksi tegangan tinggi. Kecepatan input dari 970 rpm direduksi oleh gearbox menjadi 29.5 rpm.

2. Grinding Table

Grinding table berfungsi untuk menerima batubara dari *bunker* batubara melalui pipa *feeder* batubara. *Grinding table* digerakkan dengan motor induksi tegangan tinggi melalui sebuah *planetary gearbox*. *Grinding table* terletak di bagian *lower housing and liner assembly*.

3. *Middle Housing and Liner Assembly*
Middle housing terletak di atas *grinding table lower housing assembly*. Pada bagian ini terdapat pintu yang dapat dibuka saat proses pemeliharaan *grinding rollers*.
4. *Grinding Rollers*
Grinding rollers berfungsi untuk menghancurkan batubara yang ada di atas *grinding table* menjadi serbuk batubara. Setiap *pulverizer* memiliki 3 buah *grinding rollers*. *Grinding rollers* terletak di atas *grinding table*. *Grinding rollers* terdiri dari *journal shaft*, *journal bearing*, dan *journal head*.
5. *Upper Housing Assembly*
Upper housing assembly terletak di atas *middle housing*. Pada bagian ini terdiri dari *funnel*, *vane classifier assembly*, *coal feed pipe* dan *outlet port assembly*. *Funnel* berfungsi sebagai saluran jatuhnya batubara dari *feeder* ke dalam *middle housing assembly*. *Vane classifier assembly* berfungsi untuk meningkatkan efisiensi dari pemisahan debu dengan batubara sebelum meninggalkan *mill* dan mengontrol tingkat kehalusan batubara. *Coal feed pipe* berfungsi sebagai pipa saluran batubara yang telah halus untuk selanjutnya masuk ke dalam burner. *Outlet port assembly* berfungsi untuk menyalurkan batubara dari *classifier* menuju keempat *coal feed pipe*.
6. *Hydraulic Cylinder and Hydraulic Oil Unit*
Hydraulic cylinder terdiri dari *cylinder tube* dan piston berfungsi untuk mengalirkan pelumasan ke seluruh bagian sistem *pulverizer*. Oli dengan tekanan tinggi disalurkan melalui setiap sisi dari piston sehingga memungkinkan piston bergerak naik atau turun. Sedangkan *hydraulic oil unit* terdiri dari *oil reservoir* dengan kapasitas 1180 liter.



Gambar 2.4 Pulverizer

2.7.5 Coal Feeder

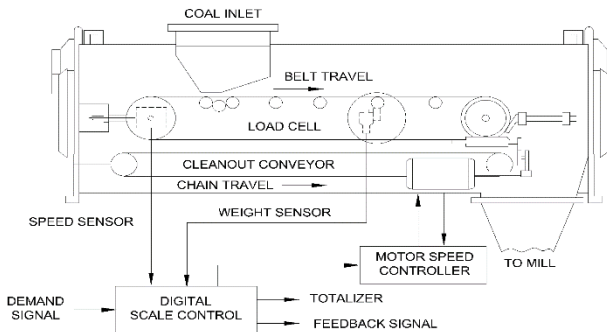
Coal feeder berfungsi untuk mengatur jumlah batubara yang masuk ke *pulverizer*. Jumlah batubara yang masuk ke dalam *pulverizer* berubah-ubah sesuai dengan beban unit pembangkit. Oleh karena itu, *output coal feeder* berubah-ubah sesuai dengan kebutuhannya. Pengaturan *output coal feeder* dapat dilakukan dengan dua cara yaitu motor penggerak yang putarannya dapat diatur dan motor putaran tetap dengan *variable speed drive*.

2.7.6 Komponen-Komponen Coal Feeder

1. Motor penggerak *clean out conveyor*, berfungsi untuk menggerakkan peralatan pembersih batubara yang tercecer di *coal feeder*.
2. Motor penggerak *coal feeder*, berfungsi untuk penggerak *belt feeder*.
3. *Belt feeder*, berfungsi untuk menyalurkan batubara dari *outlet coal bunker* menuju *pulverizer* melalui *outlet coal feeder*.
4. *Clean out conveyor, scraper conveyor* untuk pembersih batubara yang tumpah dan tercecer di bawah *belt feeder*.

Tumpukan batubara akan disapu oleh *clean out conveyor* masuk ke dalam *pulverizer* melalui *discharge chute coal feeder*.

5. *Head pulley* dan *take-up pulley*, berfungsi sebagai tempat berputarnya *belt feeder* dari atas ke bawah dan dari bawah ke atas. *Take-up pulley* dilengkapi dengan *adjusting screw* yang berfungsi untuk mengatur posisi *belt*.
6. *Belt V-guide*, berfungsi sebagai pemandu agar dalam operasinya *belt* selalu dalam posisi tengah (*track*).
7. *Coal flow indicator*, berfungsi sebagai penunjuk besaran batubara yang masuk ke *pulverizer*.

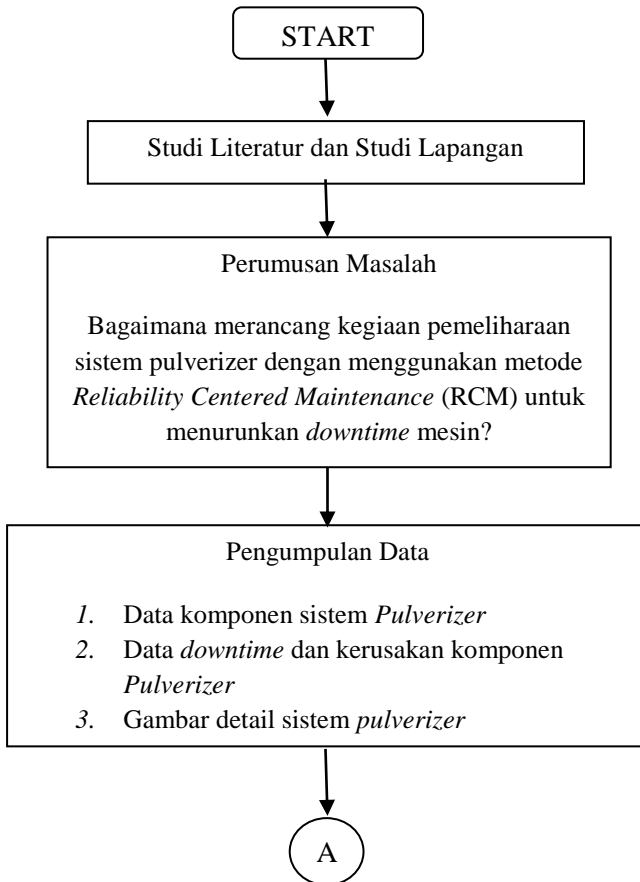


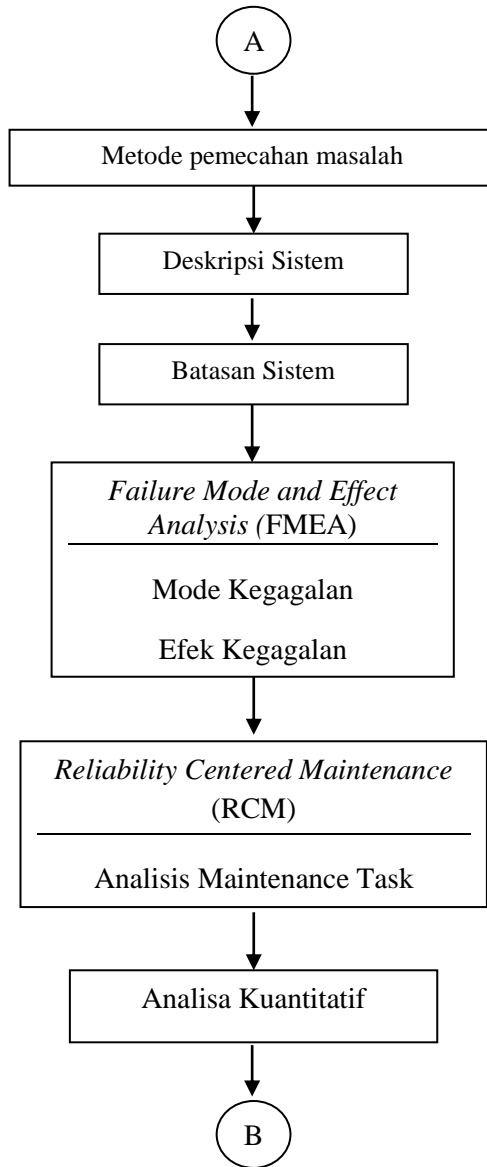
Gambar 2.5 Coal Feeder

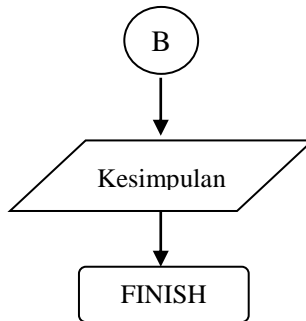
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan dengan mengikuti diagram alir penelitian sebagai berikut :







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar 3.1 di atas dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1 Studi Literatur, Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan

Langkah awal yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah studi lapangan ke PLTU Paiton Unit 3. Studi lapangan dilakukan untuk mencari informasi dan kondisi perusahaan untuk mengidentifikasi permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Studi lapangan dilakukan menyangkut area spesifik yang digunakan untuk mengumpulkan data-data yang mendukung penelitian yaitu Departemen *Engineering* dan Departemen *Maintenance*. Setelah melakukan studi lapangan, tahap selanjutnya adalah studi literatur yang bertujuan untuk menggali informasi yang dapat mendukung penelitian, baik dari buku, jurnal, maupun penelitian-penelitian sebelumnya. Adapun studi literatur yang dilakukan adalah mengenai *pulverizer machine*, baik berupa gambar detail maupun fungsi subsistem serta komponen dan metode *Reliability Centered Maintenance*.

3.2.2 Perumusan Masalah

Tahap selanjutnya adalah merumuskan masalah yang dijadikan objek dalam penelitian ini. Objek yang diteliti adalah *hydraulic oil pump*, *grinding roller*, *gearbox*, dan *middle housing* pada sistem *pulverizer* PLTU Paiton Unit 3. Alasan pemilihan komponen tersebut karena mempunyai frekuensi downtime paling tinggi diantara komponen lain pada sistem *pulverizer* PLTU Paiton Unit 3. Oleh karena itu perlu adanya perancangan kegiatan perawatan *pulverizer* yang tepat untuk menurunkan tingkat *breakdown* mesin dan *downtime* produksi.

3.2.3 Pengumpulan Data

Pada tahap ini data yang digunakan adalah data dari bulan Januari 2015 sampai dengan Januari 2016. Data-data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data komponen sistem *pulverizer*.
2. Data kegagalan komponen *pulverizer* yang pernah terjadi.
3. Gambar detail sistem *pulverizer*.

3.2.4 Pengolahan Data

Berdasarkan data-data yang didapat akan dilanjutkan dengan proses analisis untuk dapat menentukan kebijakan perawatan pada objek terpilih menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Proses analisis sebagai berikut:

3.2.5 Deskripsi Sistem

Pada tahap ini berisikan *system boundary condition* yang menjelaskan batasan yang akan dianalisa, meliputi cara kerja sistem serta penggunaan instrumen yang ada dalam sistem. Pada tahap ini dijelaskan fungsi, *input* dan *output* dari tiap subsistem.

3.2.6 Batasan Sistem dan Block Diagram

Pada tahap ini akan ditentukan batasan-batasan sistem yang akan dianalisa dari *Piping and Instrument Diagram (P&ID)*. Hal ini dilakukan untuk menjelaskan batasan-batasan suatu sistem yang diteliti selanjutnya dari batasan sistem tersebut

disederhanakan menjadi suatu *block diagram* untuk mengetahui hubungan antar sistem yang terkait.

3.2.7 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Tahap FMEA merupakan proses identifikasi kegagalan dari suatu komponen yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi dari sistem kerja *pulverizer* yang mungkin terjadi.

3.2.8 Reliability Centered Maintenance (RCM)

RCM merupakan diagram alir kualitatif proses klasifikasi *failure mode* ke dalam beberapa kategori sehingga ditentukan tingkat prioritas dalam penanganan masing-masing *failure mode* berdasarkan kategorinya.

3.2.9 Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan dengan bantuan software Weibull++6 untuk menganalisa keandalannya dengan langkah sebagai berikut:

- Menghitung indeks kegagalan yang meliputi *probability density function*, nilai keandalan terhadap waktu, nilai kegagalan terhadap waktu, dan MTBF. Proses pengolahan data menggunakan perangkat lunak Weibull++6
- Menghitung interval waktu perawatan *preventif* dengan data-data hasil olahan indeks keandalan.

3.2.10 Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian ini. Tahap ini akan memberikan kesimpulan berupa daftar tindakan dan kegiatan yang harus dilakukan dari tiap mode kerusakan serta memberikan hasil dari keandalan masing-masing subsistem.

BAB IV

PENGUMPULAN DATA DAN ANALISA KUALITATIF

Pada bab ini akan dibahas tentang pengumpulan data dan analisa data secara kualitatif sehingga didapatkan rekomendasi perancangan kegiatan perawatan pada setiap komponen yang sering mengalami kegagalan. Proses pengolahan data diawali dengan mengidentifikasi sistem pemeliharaan yang diterapkan agar mengetahui kekurangan sistem perawatan yang telah dilakukan oleh PLTU Paiton Unit 3. Selanjutnya analisis sistem meliputi deskripsi dari sistem tersebut yang berisi operating context, batasan dari sistem yang dipilih sebagai objek penelitian dan disederhanakan melalui suatu blok diagram. Selanjutnya analisa komponen beserta aliran kerja antar fungsi komponen yang membentuk suatu kesatuan subsistem. Selanjutnya akan dibuat RCM *Information Worksheet* yang berisi deskripsi fungsi, kegagalan fungsi, modus kegagalan, dan efek kegagalan.

4.1.1 Aktivitas Pemeliharaan di PLTU Paiton Unit 3

Sistem pemeliharaan yang ditetapkan pada Departemen *Maintenance* di PLTU Paiton Unit 3 meliputi 4 unit bidang pemeliharaan yaitu mekanik, listrik, instrumen, dan bengkel. Secara umum unit pemeliharaan memiliki tugas dan kewajiban sebagai berikut:

1. Melaksanakan program *preventive maintenance*.
2. Melaksanakan program perbaikan tahunan.
3. Melaksanakan pekerjaan *emergency*.
4. Mencatat segala aktivitas pada unit masing-masing yang terkait dengan pemeliharaan.
5. Melaporkan segala kegiatan dan aktifitas.
6. Melakukan perbaikan dan pengembangan desain.
7. Membuat dan memperbaiki bagian mesin yang rusak.
8. Membuat laporan kegiatan pemeliharaan.

4.3 Deskripsi Sistem

Deskripsi sistem digunakan untuk mengetahui batasan sistem perawatan dan mengetahui sistem kerja. *Pulverizer* merupakan mesin buatan MHI (Mitsubitshi *Heavy Industry*) yang berfungsi sebagai penghancur dan pengering batubara sebelum masuk ke dalam *boiler*. *Pulverizer* digerakkan oleh sebuah motor dan memiliki tiga buah *grinding roller* untuk menggerus batubara. Sistem pelumasan menggunakan pelumasan hidrolis. Data sheet dari *pulverizer* ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan deskripsi sistem ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.1 Data Sheet Pulverizer

Subject		Specifications
<i>Equipment number</i>		03HFC01AJ101, 03HFC02AJ101 03HFC03AJ101, 03HFC04AJ101
<i>Pulverizer</i>	<i>Manufacturer</i>	MHI
	<i>Model</i>	MVM31F
	<i>Type</i>	<i>Vertical, pressurize</i>
	<i>Capacity</i>	108 t/h
<i>Coupling</i>	<i>Manufacturer</i>	Hitachi Nico Transmission co. Ltd
	<i>Model</i>	VRP-140
	<i>Type</i>	NEH55W (<i>Form-flex coupling</i>)
<i>Bearing</i>	<i>Roller Journal Upper Bearing</i>	<i>Cylindrical roller bearing</i> 80NU70162
	<i>Roller Journal Lower Bearing</i>	<i>Double row Tapered Roller Bearing</i> 45T807038
<i>Major material</i>	<i>Journal shaft</i>	S45C
	<i>Journal head</i>	SC480
	<i>Journal housing</i>	SC410
	<i>Grinding table</i>	SC480
	<i>Grinding table</i>	SC410 with Hard overlay

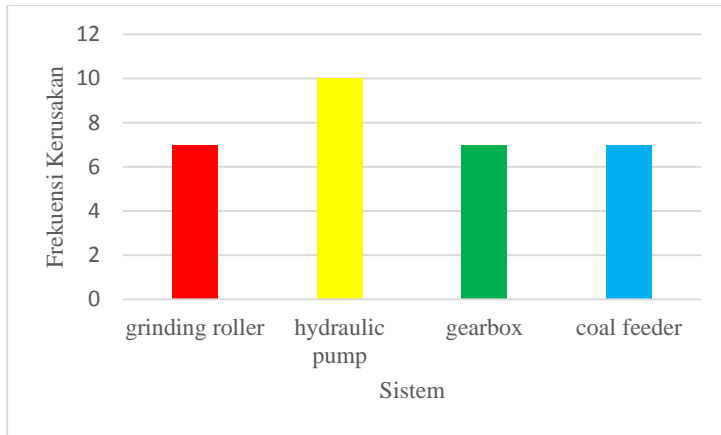
	<i>liner</i>	<i>welded</i>
	<i>Grinding roller</i>	<i>SC410 with Hard overlay welded</i>
	<i>Deflector liner assembly</i>	<i>Ss 400 & ceramic liner</i>
<i>Weight (approximately)</i>	<i>Grinding table dum ring</i>	<i>SS400</i>
	<i>Grinding table wedge ring</i>	<i>SS400</i>
	<i>Grinding table assembly</i>	<i>30.9 t</i>
	<i>Roller journal assembly</i>	<i>21.5 t</i>
	<i>Roller cover assembly</i>	<i>10 t</i>
	<i>Vane classifier assembly</i>	<i>31.5 t</i>
	<i>Lower housing assembly</i>	<i>18.1 t</i>
	<i>Middle housing assembly</i>	<i>23 t</i>
	<i>Upper housing assembly</i>	<i>31.6 t</i>
	<i>Planetary gearbox</i>	<i>31.5 t</i>
	<i>Motor</i>	<i>13.9 t</i>
<i>Grinding table rotating speed</i>		<i>29.5 rpm</i>

Tabel 4.2 Deskripsi Sistem

<i>System Boundary Condition</i>	
<i>Plant</i>	: <i>PLTU Paiton</i>
<i>Unit</i>	: <i>3</i>
<i>System</i>	: <i>Coal Firing System</i>
<i>Subsystem</i>	: <i>Coal Pulverizer</i>
<i>Major Equipment Included</i>	
<i>Pulverizer</i>	: <i>hydraulic oil pump, grinding roller, gearbox, coal feeder</i>
<i>Operating Context</i>	
<p>Untuk memenuhi kebutuhan produksi, masing-masing boiler - Unit turbin menggunakan sistem penggilingan batubara untuk menggiling dan menghasilkan partikel batubara halus dengan spesifikasi: sekitar 68% -72% dari total produk harus partikel batubara halus dari 75 mikron atau lebih halus dan 2 % dari produk harus partikel batubara denda 300 mikron atau lebih besar. partikel batubara ini digunakan dalam tungku boiler untuk proses pembakaran. (Proses pembakaran di tungku juga membutuhkan campuran batubara dan suhu udara menjadi setidaknya 65 derajat C). Dalam memproduksi partikel batubara halus ini, sistem coal mill mengkonsumsi antara 5000-6700 ton batubara per hari.</p>	

4.4 Analisa Pemilihan Komponen Kritis

Dari hasil penentuan komponen-komponen kritis akan dapat dipetakan komponen apa yang dapat menyebabkan kegagalan dari *pulverizer*. Penentuan komponen didasarkan dari seringnya komponen tersebut mengalami kegagalan.



Gambar 4.1 Frekuensi kerusakan sistem pada *Pulverizer* PLTU Paiton Unit 3 dari bulan April 2015 – Januari 2016

Berdasarkan dari data frekuensi kerusakan tersebut ditemukan sistem yang mempunyai frekuensi kerusakan terbanyak adalah *hydraulic oil pump*, *grinding roller*, *gearbox*, dan *coal feeder* sehingga objek penelitian difokuskan pada keempat sistem tersebut.

4.5 Pengumpulan Data Kerusakan

Berdasarkan data dari Departemen *Engineering* PLTU Paiton Unit 3 komponen dari *pulverizer* yang mengalami kerusakan tertinggi yaitu *grinding roller*. Fungsi *grinding roller* ini sangat berpengaruh besar terhadap operasional *pulverizer*. Kerusakan yang sering dialami oleh *grinding roller* yaitu tekisnya permukaan *grinding roller* akibat benda asing selain batubara yang masuk ke dalam *pulverizer* dan terjadi salah pengaturan clearance antara *table liner* pada Gambar 4.2 dan *grinding roller* pada Gambar 4.3



Gambar 4.2 *Table Liner abrasive* pada permukaan



Gambar 4.23 *Grinding Roller Aus*

4.6 Fungsi, Kegagalan Fungsi, Modus Kegagalan, dan Efek Kegagalan

Dari data kerusakan di atas, selanjutnya dilanjutkan dengan menentukan kegagalan fungsi, modus kegagalan, dan efek kegagalan fungsi dari tiap-tiap komponen. Analisis menggunakan FMEA untuk menjelaskan fungsi komponen didefinisikan sebagai kemampuan yang dapat dilakukan oleh suatu komponen untuk memenuhi standar kinerja yang diharapkan. Modus kegagalan didefinisikan sebagai ketidak mampuan komponen dalam menjalankan fungsi sehingga tidak dapat memenuhi standar kinerja yang diharapkan. Modus kegagalan didefinisikan sebagai kejadian-kejadian yang mempunyai kemungkinan besar untuk menyebabkan kegagalan fungsi. Efek kegagalan didefinisikan sebagai dampak dari failure yang terjadi.

Sesuai diskusi dengan pihak Departemen Engineering PLTU Paton Unit 3, keempat hal tersebut dimasukkan ke dalam tabel Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk masing-masing komponen *Pulverizer*. Selanjutnya tabel FMEA dapat dilihat pada Tabel 4.4 sampai Tabel 4.7

Tabel 4.4 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Grinding roller*

Failure Mode and Effect Analysis					Grinding Roller
No	Fungsi	Fungsi Kegagalan		Mode Kegagalan	Efek Kegagalan
1	menghancurkan bongkahan batubara yang jatuh di atas <i>grinding table</i> hingga menjadi serbuk	1 A	Batubara yang jatuh diatas <i>grinding table</i> tidak tergilang hingga ukuran yang	1 A 1 permukaan <i>grinding roller</i> mengalami kerusakan (abrasive)	Volume batubara yang dikirim ke dalam <i>boiler furnace</i> berkurang, hal ini diketahui dari <i>load boiler</i> yang turun pada DCS. <i>Grinding table</i>

			diizinkan		<p><i>liner</i> mengalami <i>abrasive</i> pada sambungan las Penumpukan <i>reject</i> batubara pada <i>spillage reject hopper</i> Waktu yang dibutuhkan untuk menggiling batubara menjadi lebih lama. <i>Fineness</i> batubara melebihi 75 <i>micron</i></p> <p>Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i></p> <p>Tindakan <i>maintenance</i>: pembongkaran, inspeksi, dan penggantian <i>grinding roller</i></p> <p>Lama perbaikan : 20 hari</p>
2	mensuplai batubara dengan ukuran 75 <i>micron</i> ke dalam boiler furnace	2 A	batubara yang masuk ke dalam boiler furnace > 75 <i>micron</i>	2 A 1	<p><i>clearance</i> antara <i>grinding roller</i> dengan <i>table liner</i> melebihi 13 mm</p> <p>penumpukan batubara pada <i>spillage reject hopper</i>. Waktu penggilingan menjadi lebih lama. <i>Abnormality</i></p>

						<p>pada <i>flame quality</i> dan <i>bottom ash</i></p>
						<p>Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i></p>
						<p>Tindakan <i>maintenance</i>: pembongkaran, inspeksi, dan penggantian grinding roller</p>
						<p>lama perbaikan: 8 jam</p>
				2 A 2	<p><i>fatigue</i> pada <i>journal spring</i></p>	<p><i>Classifier blade</i> aus. <i>Fineness</i> batubara melebihi 75micron. Hasil akhir dari pembakaran batubara (bottom ash) lebih banyak dari biasanya (abnormal)</p>
						<p>Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i> dan uji <i>sample coal fineness</i></p>
						<p>Tindakan <i>maintenance</i>: pembongkaran, inspeksi,</p>

Tabel 4.5 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Hydraulic pump*

Failure Mode and Effect Analysis				<i>Hydraulic pump</i>
No	Fungsi (Function)	Fungsi Kegagalan (Functional Failure)	Mode Kegagalan (Failure Mode)	Efek Kegagalan (Failure Effect)
1	menekan <i>grinding roller</i> agar memiliki gaya tekan ke bawah untuk menggiling batubara	1 A <i>grinding roller</i> tidak memiliki gaya tekan ke bawah untuk menggiling batubara	1 A 1 <i>discharge element filter</i> dan <i>suction filter</i> tersumbat dan <i>discharge line</i> retak pada sambungan las	tidak dapat melubrikasi seluruh sistem <i>pulverizer</i> sehingga menyebabkan <i>high vibration</i> pada pompa
				Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i>
				Tindakan maintenance : penggantian pompa & <i>discharge filter</i> , pengelasan <i>discharge line</i>
				Lama perbaikan : 8 jam
			1 A 2 piston pada <i>hydraulic pump</i> retak	<i>abnormal noise</i> . pompa hidrolik gagal mensuplai pelumas
				Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i>

					Tindakan <i>maintenance</i> : penggantian piston
					Lama perbaikan : 5 jam

Tabel 4.6 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Gearbox*

Failure Mode and Effect Analysis					<i>Gearbox</i>
No	Fungsi (Function)	Fungsi Kegagalan (Functional Failure)	Mode Kegagalan (Failure Mode)	Efek Kegagalan (Failure Effect)	
1	mentransmisi daya dari motor menuju <i>grinding table assembly</i> agar <i>grinding table</i> berputar	1 A <i>gearbox</i> gagal mentrans misi daya menuju <i>grinding table</i>	1 A <i>seal dan flange</i> aus	motor <i>gearbox</i> trip karena <i>overheating</i> yang disebabkan oleh kebocoran oli	
				2. Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i>	
				3. Tindakan maintenance: a. Melakukan penggantian <i>seal dan flange</i> b. mengencangkan kembali baut dan mengaplikasikan <i>special quick compound</i>	

					<p>c. melakukan uji lab oli untuk mengetahui apakah oli masih layak atau terkontaminasi</p> <p>d. membersihkan kebocoran oli di sekitar area <i>gearbox</i></p>
					Lama perbaikan : 2 jam
	1 A 2	gigi <i>gearbox</i> patah			Motor akan <i>overload</i> dan trip karena kurang pelumasan
					Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i>
					Tindakan <i>maintenance</i> : a. Melakukan <i>trouble shooting</i> b. Melakukan penggantian <i>gearbox</i>
					lama perbaikan : 30 hari
		<i>thrust</i>			Motor trip dan

				1 A 3	<i>bearing high temperat ure</i>	<i>overload</i>
						Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i>
						Tindakan maintenance : melakukan inspeksi, pembongkaran, penggantian <i>bearing</i> dan <i>thermocouple</i>
						lama perbaikan : penggantian <i>thrust bearing</i> 2 hari
				1 A 4	<i>gearbox bearing jammed</i>	motor <i>trip</i> karena <i>high temperature</i> dan <i>overload</i>
						Tindakan operator : <i>shutdown pulverizer</i>
						Tindakan maintenance : pembongkaran dan penggantian <i>gearbox</i>
						Lama perbaikan : investigasi dan <i>uncouple coupling</i> 2,5 jam. Penggantian <i>gearbox</i> 30 hari

Tabel 4.7 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Coal feeder*

Failure Mode and Effect Analysis					coal feeder	
No	Fungsi (Function)	Fungsi Kegagalan (Functional Failure)		Mode Kegagalan (Failure Mode)	Efek Kegagalan (Failure Effect)	
1	mentransfer batubara dari <i>coal silo</i> menuju pulverizer	1 A	gagal mentransfer batubara	1 A 1	Bearing head pulley jammed	Batubara tidak akan jatuh di atas feeder karena pulley tidak bergerak atau stop
						Tindakan operator : shutdown coal feeder
						Tindakan maintenance : pembongkaran dan penggantian bearing
						Lama perbaikan : 3.5 jam
				1 A 2	belt feeder keluar dari jalur	a. Batubara akan tumpah b. Batubara gagal ditransfer menuju pulverizer menyebabkan load di dalam pulverizer berkurang sehingga menyebabka

						n <i>derating</i> unit karena load pembakaran di dalam <i>boiler</i> berkuang
						Tindakan operator : <i>shutdown</i> <i>pulverizer</i>
						Tindakan <i>maintenance</i> : <i>shutdown coal</i> <i>feeder</i> dan kalibrasi <i>belt</i> <i>feeder</i>
						Lama perbaikan: 4,5 jam

4.7 Analisa Maintenance Task

Pada tahap ini analisis *maintenance task* menggunakan RCM Decision Worksheet. Analisa kegagalan sistem dilakukan berdasarkan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang telah didefinisikan sebelumnya. Berdasarkan hasil *brainstorming* dan diskusi dengan Departemen Pemeliharaan dan Departemen *Engineering* di PLTU Paiton Unit 3 maka *maintenance task* yang tepat ditentukan dengan menggunakan RCM *Decision Diagram* untuk masing-masing subsistem pada *Pulverizer*. Analisis sesuai tahapan RCM *Decision Diagram* digunakan untuk mencari *maintenance task* yang sesuai dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode* yang terjadi pada tiap-tiap komponen. Selanjutnya analisis *maintenance task* tersebut diisikan kedalam tabel 4.8 sampai tabel 4.9

Tabel 4.9 RCM Decision Worksheet Grinding roller

RCM Decision Worksheet													
Information Reference			Consequence Evaluation				H1	H2	H3	Default Action			Proposed Task
							S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	
1	1A	1A1	Y	N	N	Y	N	N	Y				Cek hasil <i>fineness</i> batubara dengan uji sample, mengganti <i>grinding roller</i> , <i>scheduled discard task</i>
2	2A	2A1	Y	N	N	Y	N	Y					Inspeksi dan <i>adjust clearance grinding roller</i> , <i>scheduled</i>
2	2A	2A2	Y	N	N	Y	N	N	Y				Inspeksi, mengganti dan <i>adjust spring tension</i> atau penggantian <i>spring</i> saat <i>overhaul</i> , <i>scheduled discard task</i>

2	2 A	2A3	Y	N	N	Y	N	Y									<i>Adjust clearance classifier, scheduled restoration task</i>
---	--------	-----	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabel 4.9 RCM Decision Worksheet Hydraulic pump

RCM Decision Worksheet															
<i>Information Reference</i>			<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>			<i>Proposed Task</i>		
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	1A	1A 1	Y	N	N	Y	N	N	Y				Penggantian pompa, penggantian <i>discharge</i> <i>filter</i> , <i>alignment</i> pompa, <i>scheduled</i> <i>discard task</i>		
1	1A	1A 2	N	N	N	Y	N	N	Y				penggantian piston dan <i>alignment</i> <i>piston</i> , <i>scheduled</i> <i>discard task</i>		

Tabel 4.10 *RCM Decision Worksheet Gearbox*

RCM Decision Worksheet													
<i>Information Reference</i>			<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>			<i>Proposed Task</i>
							S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	
1	1A	1A ₁	Y	N	N	Y	N	N	Y				Penggantian seal dan flange, <i>scheduled discard task</i>
1	1A	1A ₂	N	N	N	Y	N	Y					Penggantian gearbox, <i>scheduled discard task</i>
1	1A	1A ₃	N	N	N	Y	N	N	N	Y			Cek temperature bearing tidak boleh >120°C, dilakukan penurunan beban, pengaturan pressure oil, dan penggantian <i>thrust bearing</i> ,

1	1A	1A ₄	N	N	N	Y	N	N	N	Y		<i>redesign pada pemilihan material bearing dan sistem pelumasan</i> <i>Penggantian gearbox, scheduled discard task</i>
---	----	-----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--

Tabel 4.11 *RCM Decision Worksheet Coal feeder*

RCM Decision Worksheet													
<i>Information Reference</i>			<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>			<i>Proposed Task</i>
							S1	S2	S3				
							O1	O2	O3				
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4	
1	1A	1A ₁	Y	Y	Y	Y	N	N	Y				Pembongkaran dan penggantian bearing,, <i>scheduled discard task</i>

1	1A	1 A 2	Y	N	N	Y	Y							pengecekan <i>belt feeder</i> , pengecekan <i>volumetrik</i> (load cell) dan <i>gravimetrik</i> (kerataan dan kemuluran <i>belt</i>), <i>scheduled</i> <i>restoration</i> <i>task</i>
---	----	-------------	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	---

Kolom 1 dan 2 menunjukkan identitas *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang dianalisis, yaitu *Functional Failure* (FF) dan *Failure Mode* (FM). Kolom *consequence evaluation* merupakan evaluasi konsekuensi kegagalan atau dampak yang ditimbulkan jika kegagalan terjadi. Terdapat beberapa konsekuensi atau dampak yang ditimbulkan, yaitu *hidden failure consequences* (H) pada kolom 3, *safety consequences* (S) pada kolom 4, *environmental consequences* (E) pada kolom 5 dan *operational consequences* (O) pada kolom 6. Kolom 3 sampai dengan kolom 6 tersebut dapat diisi dengan Yes (Y) apabila *failure mode* mempunyai dampak atau konsekuensi pada masing-masing aspek tersebut dan dapat diisi No (N) apabila sebaliknya.

Pada kolom 8 (H2/S2/O2/N2) dapat diisi dengan *Yes* (Y) apabila *scheduled restoration task* merupakan kebijakan perawatan sesuai untuk mengantisipasi atau mencegah *failure mode* yang terjadi dan diisi *No* (N) apabila sebaliknya. *Scheduled restoration task* mencakup kegiatan rekondisi komponen untuk mengembalikan kemampuan asal atau melakukan *overhaul* pada

saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan tanpa memandang kondisi komponen saat perbaikan. Kegiatan ini mencakup *interval based maintenance* dan *preventive maintenance*.

Pada kolom 9 (H3/S3/O3/N3) dapat diisi dengan *Yes* (Y) apabila *scheduled discard task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai untuk mengantisipasi atau mencegah *failure mode* yang terjadi dan diisi *No* (N) apabila sebaliknya. *Scheduled discard task* mencakup kegiatan untuk mengganti komponen dengan komponen baru pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan atau sesuai interval waktu tertentu tanpa memandang kondisi komponen saat penggantian.

Apabila pada kolom 7 sampai dengan kolom 9 terisi *No* (N), maka dipilihlah salah satu dari *default action* yang sesuai pada kolom 10 hingga 12 untuk masing-masing *failure mode*. Kolom 10 (H4) dapat diisi dengan *Yes* (Y) apabila *failure finding task* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai untuk menangani *failure mode* yang terjadi dan diisi dengan *No* (N) apabila sebaliknya. *Failure finding task* merupakan kegiatan memeriksa fungsi tersembunyi untuk mengetahui apakah komponen tersebut sudah mengalami kegagalan.

Kolom 11 (H5) dapat diisi *Yes* (Y) apabila *redesign* merupakan kebijakan perawatan yang sesuai untuk menangani *failure mode* yang terjadi dan diisi *No* (N) apabila sebaliknya. *Redesign* mencakup perubahan atau modifikasi kemampuan suatu sistem termasuk perubahan peralatan dan prosedur kerja. Kolom 12 (S4) merupakan kolom terakhir yang merupakan *no scheduled maintenance*. *No scheduled maintenance* adalah tindakan tidak melakukan perawatan apapun atau membiarkan peralatan sampai rusak baru diperbaiki. Hal ini dilakukan karena konsekuensi kegagalan tidak berpengaruh terhadap apapun. Dengan kata lain, biaya yang dikeluarkan akan lebih mahal jika dilakukan aktifitas perawatan atau pencegahan daripada menunggu peralatan benar-benar rusak sehingga pada kolom *proposed task* dapat ditentukan *maintenance task* yang paling tepat.

4.8 Rekomendasi

Rekomendasi tindakan yang dihasilkan dengan pendekatan *Reliability Centered Maintenance* (RCM) sebagai perencanaan tindakan terhadap masing-masing *failure mode* komponen dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Rekomendasi *Maintenance Task*

No	Kategori	<i>Failure Mode</i>
1.	<i>Scheduled on condition</i>	-
2.	<i>Scheduled restoration</i>	<i>Clearance grinding roller</i> melebihi ketentuan, <i>Bukaan classifier</i> terlalu besar, <i>belt feeder</i> keluar jalur
3.	<i>Scheduled discard</i>	<i>Abrasive</i> pada permukaan <i>grinding roller</i> , <i>Fatigue</i> pada <i>journal spring</i> , <i>discharge & suction filter</i> <i>hydraulic pump</i> tersumbat, <i>piston hydraulic pump</i> retak, <i>seal & flange gearbox</i> aus, gigi <i>gearbox</i> patah, <i>gearbox bearing jammed</i> pada <i>gearbox</i> , <i>bearing head pulley jammed</i> pada <i>coal feeder</i>
4.	<i>Failure finding</i>	-
5.	<i>Redesign</i>	<i>Thrust bearing high temperature</i>
6.	<i>No scheduled maintenance</i>	-

BAB V

ANALISA KEANDALAN KUANTITATIF

Pada bab ini akan dibahas tentang analisa data secara kuantitatif kegagalan sehingga diketahui nilai keandalan dari masing-masing subsistem. Proses pengolahan data diawali dengan mengumpulkan daftar waktu antar kegagalan tiap subsistem untuk dilakukan uji distribusi menggunakan perangkat lunak Weibull++6. Selanjutnya data kegagalan tersebut dianalisis agar diketahui nilai *probability density function*, nilai keandalan, laju kegagalan dan nilai rata-rata waktu antar kegagalan (MTBF) dari tiap subsistem tersebut. Kemudian menghitung nilai keandalan dengan disertai *preventive maintenance* untuk membandingkan hasil keandalan tanpa *preventive maintenance*, keandalan dengan *preventive maintenance*, dan keandalan kumulatif *preventive maintenance*.

5.1 Analisa Keandalan Kuantitatif Sistem *Pulverizer*

5.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) *Grinding roller*

Berdasarkan data berupa *historical record* harian yang telah diolah didapatkan data waktu antar kegagalan untuk *grinding roller* seperti pada Tabel 5.1:

Tabel 5.1 Waktu Antar Kegagalan *Grinding roller*

Sistem	No	Shutdown	Restore	TBF (hour)	TTR (hour)
<i>Grinding Roller</i>	1	21-Agu-12	10-Sep-12	0	470
	2	14-Des-12	14-Des-12	2256	12
	3	04-Apr-13	04-Apr-13	2640	12
	4	16-Okt-13	05-Nov-13	4608	480
	5	07-Feb-14	26-Feb-14	2208	480

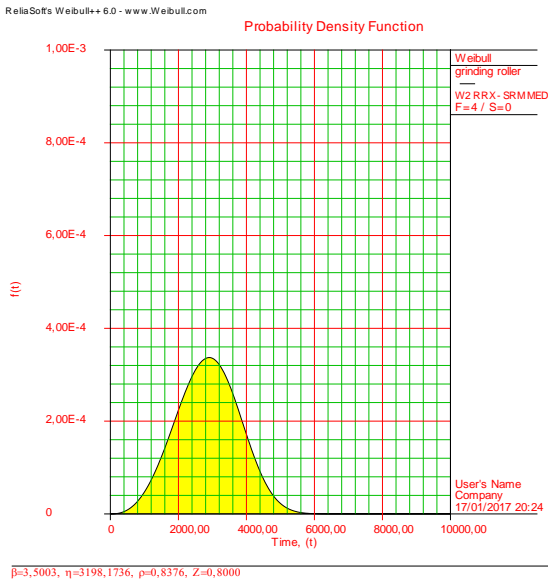
Dari hasil pengujian distribusi, tampak bahwa distribusi untuk data *grinding roller* adalah distribusi Weibull 2 dengan parameter berikut: Beta (β) = 3,5003 ; Eta (η) = 3198,1736 ; Gamma = 0

5.1.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) *Grinding Roller*

Berdasarkan parameter yang didapatkan, maka fungsi padat peluang dapat ditentukan berdasarkan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{23,5003}{3198,1736} \left(\frac{t-0}{3198,1736} \right)^{3,5003-1} \exp \left[- \left(\frac{t-0}{3198,1736} \right)^{2,7593} \right]$$

Melalui *software* weibull++6 maka fungsi padat peluang didapatkan grafik hubungan antara pdf dengan waktu operasional seperti pada Gambar 5.1:



Gambar 5.1 Grafik pdf *Grinding Roller*

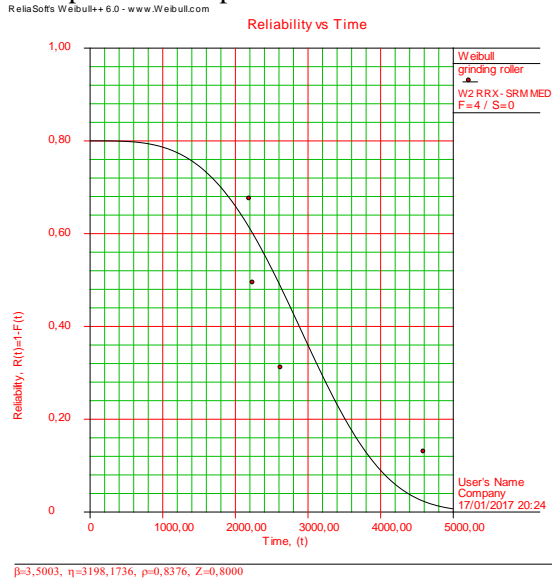
Dari Gambar 5.1 diketahui bahwa *grinding roller* memiliki prosentase luasan di bawah kurva fungsi padat peluang yang besar sehingga probabilitas kegagalannya semakin besar.

5.1.3 Keandalan *Grinding Roller*

Sesuai dengan pemilihan distribusi waktu antar kegagalan dari sistem *grinding roller* yang mengikuti distribusi weibull 2, maka fungsi keandalan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan 2.10 berikut:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - 0}{3198,1736} \right)^{3,5003} \right]$$

Melalui *software* weibull++6 maka fungsi keandalan didapatkan sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional seperti terlihat pada Gambar 5.2:



Gambar 5.2 Grafik keandalan *Grinding Roller*

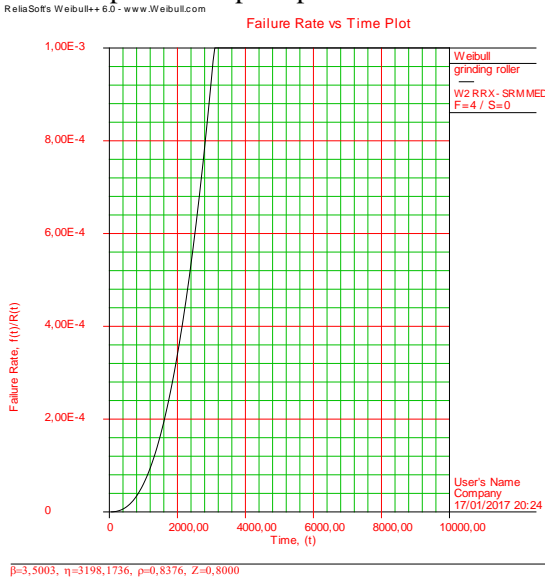
Dari Gambar 5.2 diketahui bahwa nilai keandalan dari grinding roller akan terus turun perlahan-lahan atau berkurang seiring dengan waktu operasional yang semakin bertambah.

5.1.4 Laju Kegagalan (Failure Rate) Sistem Grinding Roller

Sesuai dengan pemilihan distribusi waktu antar kegagalan dari sistem grinding roller yang mengikuti distribusi weibull 2 , maka laju kegagalan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{3,5003}{3198,1736} \left(\frac{t - 0}{3198,1736} \right)^{3,5003-1}$$

Melalui *software* weibull++6 maka didapatkan grafik laju kegagalan terhadap waktu seperti pada Gambar 5.3:



Gambar 5.3 Grafik Laju Kegagalan *Grinding Roller*

Dari Gambar 5.3 diketahui bahwa laju kegagalan *grinding roller* menunjukkan karakteristik *wearout* yaitu laju kerusakan yang cepat dengan bertambahnya waktu operasional atau pemakaian. Hal ini disebabkan oleh keausan peralatan dan pola kerusakannya tidak dapat diprediksi.

5.1.5 Mean Time Between Failure (MTBF) Sistem Grinding Roller

Berdasarkan persamaan di atas, maka MTBF dari sistem *grinding roller* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MTBF &= \eta \Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \\
 &= 3198,1736 \Gamma \left(\frac{1}{3,5003} + 1 \right) \\
 &= 3198,1736 \times \Gamma(1,285) \\
 &= 3198,1736 \times 0,90072 \\
 &= 2880,6589 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

5.2 Analisa Keandalan Kuantitatif Hydraulic Pump

5.2.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) Hydraulic Pump

Berdasarkan data berupa historical record harian yang telah diolah didapatkan data waktu antar kegagalan untuk *hydraulic pump* seperti pada Tabel 5.2:

Tabel 5.2 Waktu Antar Kegagalan Hydraulic Pump

Sistem	No	Shutdown	Restore	TBF (hour)	TTR (hour)
Hydraulic Pump	1	08-Apr-13	08-Apr-13	0	2
	2	11-Feb-14	11-Feb-14	7272	8
	3	13-Mei-14	13-Mei-14	2208	6
	4	10-Mar-15	10-Mar-15	7128	1
	5	22-Jul-15	22-Jul-15	3168	3

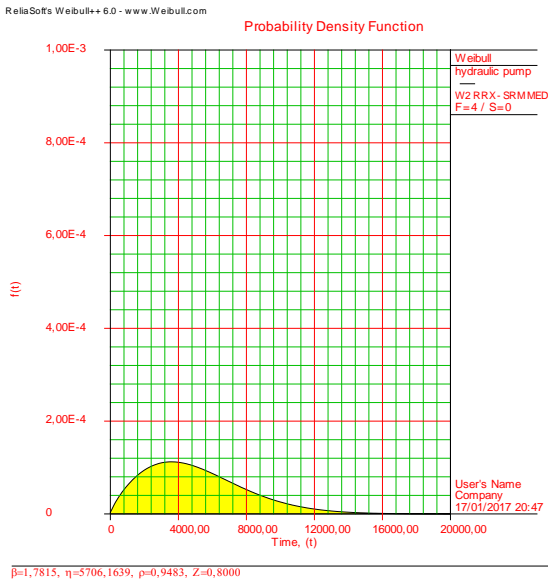
Dari hasil pengujian distribusi, tampak bahwa distribusi untuk data *hydraulic pump* adalah distribusi Weibull 2 dengan parameter berikut: Beta (β) = 1,7815 ; Eta (η) = 5706,1639 ; Gamma = 0

5.2.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) *Hydraulic Pump*

Berdasarkan parameter yang didapatkan, maka fungsi padat peluang dapat ditentukan berdasarkan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{1,7815}{5706,1639} \left(\frac{t - 10}{5706,1639} \right)^{1,7815-1} \exp \left[- \left(\frac{t - 10}{5706,1639} \right)^{1,7815} \right]$$

Melalui *software* weibull++6 maka fungsi padat peluang didapatkan grafik hubungan antara pdf dengan waktu operasional seperti pada Gambar 5.4:



Gambar 5.4 Grafik pdf *Hydraulic Pump*

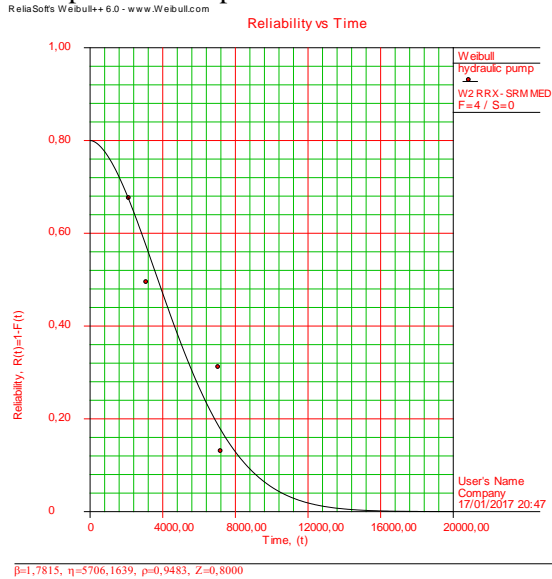
Dari Gambar 5.4 diketahui bahwa hydraulic pump memiliki prosentase luasan di bawah kurva fungsi padat peluang yang rendah sehingga probabilitas kegagalannya semakin kecil.

5.2.3 Keandalan *Hydraulic Pump*

Sesuai dengan pemilihan distribusi waktu antar kegagalan dari sistem Hydraulic Pump yang mengikuti distribusi weibull 2 , maka fungsi keandalan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - 10}{5706,1639} \right)^{1,7815} \right]$$

Melalui *software* weibull++6 maka fungsi keandalan didapatkan sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional seperti terlihat pada Gambar 5.5:



Gambar 5.5 Grafik Keandalan *Hydraulic Pump*

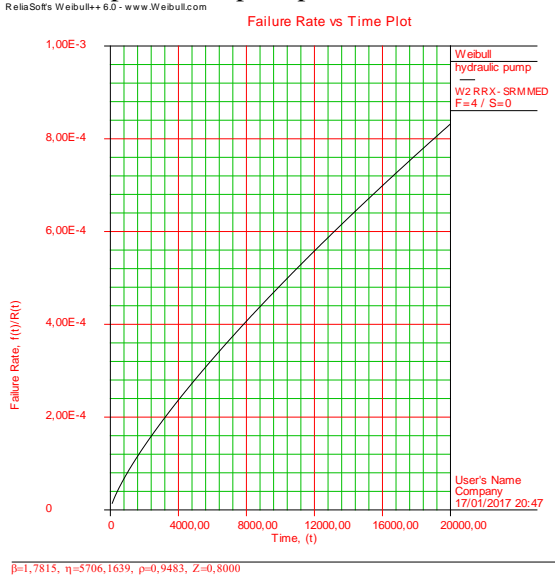
Dari Gambar 5.5 diketahui bahwa nilai keandalan dari grinding roller akan terus turun perlahan-lahan atau berkurang seiring dengan waktu operasional yang semakin bertambah.

5.2.4 Laju Kegagalan (Failure Rate) Sistem Hydraulic Pump

Sesuai dengan pemilihan distribusi waktu antar kegagalan dari sistem Hydraulic Pump yang mengikuti distribusi weibull 2, maka laju kegagalan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{1,7815}{5706,1639} \left(\frac{t - 10}{5706,1639} \right)^{1,7815-1}$$

Melalui *software* weibull++6 maka didapatkan grafik laju kegagalan terhadap waktu seperti pada Gambar 5.6:



Gambar 5.6 Laju kegagalan *Hydraulic Pump*

Dari Gambar 5.6 diketahui bahwa laju kegagalan *hydraulic pump* menunjukkan karakteristik *wearout* yaitu laju kerusakan yang cepat dengan bertambahnya waktu operasional atau pemakaian. Hal ini disebabkan oleh keausan peralatan dan pola kerusakannya tidak dapat diprediksi.

5.2.5 Mean Time Between Failure (MTBF) Sistem Hydraulic Pump

Berdasarkan persamaan di atas, maka MTBF dari sistem *Hydraulic pump* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MTBF &= \eta \Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \\
 &= 5706,1639 \Gamma \left(\frac{1}{1,7815} + 1 \right) \\
 &= 5706,1639 \times \Gamma(1,561) \\
 &= 5706,1639 \times 0,8894 \\
 &= 5075,0621 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

5.3 Analisa Keandalan Kuantitatif Gearbox

5.3.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) Gearbox

Berdasarkan data berupa *historical record* harian yang telah diolah didapatkan data waktu antar kegagalan untuk *gearbox* seperti pada tabel 5.3:

Tabel 5.3 Waktu Antar Kegagalan (TBF) Gearbox

Sistem	No	Shutdown	Restore	TBF (hour)	TTR (hour)
Gearbox	1	18-Mei-12	18-Mei-12	0	2
	2	23-Sep-12	23-Sep-12	3000	2
	3	06-Okt-12	06-Okt-12	312	3
	4	22-Okt-12	22-Okt-12	384	5
	5	31-Jul-14	31-Jul-14	15840	2

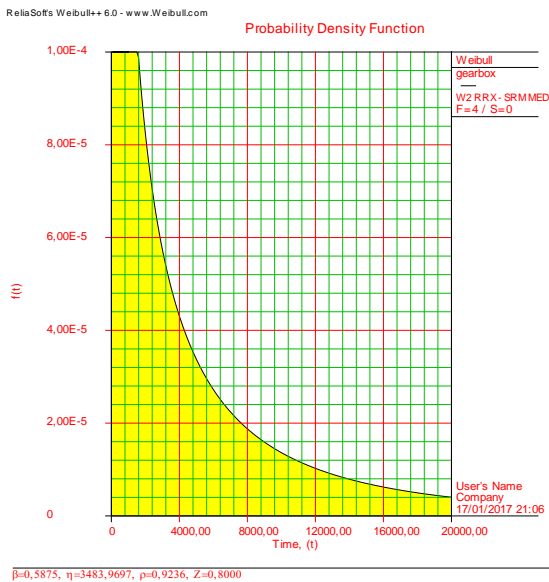
Dari hasil pengujian distribusi, tampak bahwa distribusi untuk data *gearbox* adalah distribusi Weibull 2 dengan parameter berikut: Beta (β) = 0,5875 ; Eta (η) = 3483,9697 ; Gamma = 0

5.3.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) *Gearbox*

Berdasarkan parameter yang didapatkan, maka fungsi padat peluang dapat ditentukan berdasarkan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{0,5875}{3483,9697} \left(\frac{t - 0}{3483,9697} \right)^{0,5875-1} \exp \left[- \left(\frac{t - 0}{3483,9697} \right)^{0,5875} \right]$$

Melalui *software* weibull++6 maka fungsi padat peluang didapatkan grafik hubungan antara pdf dengan waktu operasional seperti pada Gambar 5.7:



Gambar 5.7 Grafik pdf *Gearbox*

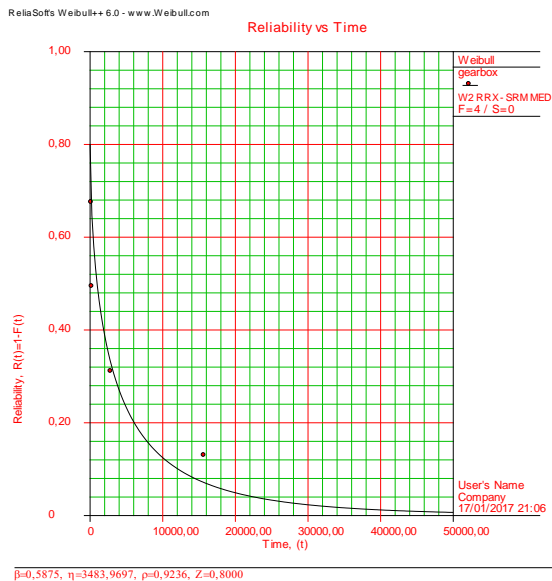
Dari Gambar 5.7 diketahui bahwa gearbox memiliki prosentase luasan di bawah kurva fungsi padat peluang yang sangat besar sehingga gearbox memiliki probabilitas kegagalan yang semakin besar.

5.3.3 Keandalan *Gearbox*

Sesuai dengan pemilihan distribusi waktu antar kegagalan dari sistem *gearbox* yang mengikuti distribusi lognormal, maka fungsi keandalan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - 0}{3483,9697} \right)^{0,5875} \right]$$

Melalui *software* weibull++6 maka fungsi keandalan didapatkan sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional seperti terlihat pada Gambar 5.8:



Gambar 5.8 Grafik Keandalan *Gearbox*

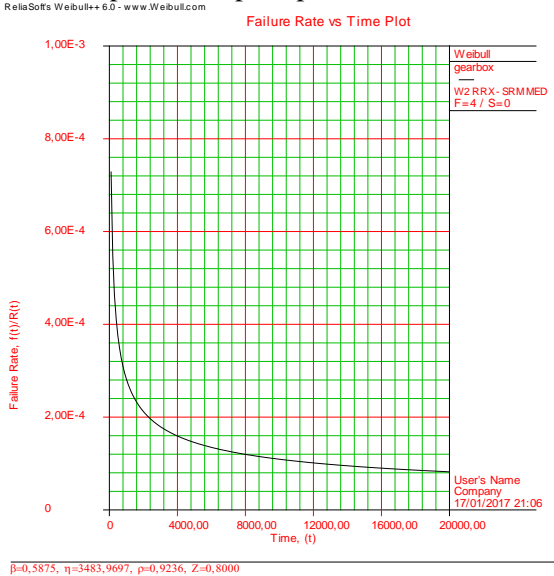
Dari Gambar 5.8 diketahui bahwa nilai keandalan dari *gearbox* akan terus turun secara cepat seiring dengan waktu operasional yang semakin bertambah.

5.3.4 Laju Kegagalan (Failure Rate) Sistem *Gearbox*

Sesuai dengan pemilihan distribusi waktu antar kegagalan dari sistem *gearbox* yang mengikuti distribusi weibull 2, maka laju kegagalan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{0,5875}{3483,9697} \left(\frac{t - 0}{3483,9697} \right)^{0,5875-1}$$

Melalui *software* weibull++6 maka didapatkan grafik laju kegagalan terhadap waktu seperti pada Gambar 5.9:



Gambar 5.9 Grafik Laju Kegagalan *Gearbox*

Dari Gambar 5.9 diketahui bahwa laju kegagalan *gearbox* menunjukkan karakteristik *useful life* yaitu laju kerusakan yang rendah dan hampir konstan seiring dengan bertambahnya waktu operasional atau waktu pemakaian. Periode ini merupakan periode pemakaian peralatan secara normal.

5.3.5 Mean Time Between Failure (MTBF) Sistem Gearbox

Berdasarkan persamaan di atas, maka MTBF dari sistem *Gearbox* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MMTBF &= \eta \Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \\
 &= 3483,9697 \Gamma \left(\frac{1}{0,5875} + 1 \right) \\
 &= 3483,9697 \times \Gamma(2,7021) \\
 &= 3483,9697 \times 1,54469 \\
 &= 5381,653 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

5.4 Analisa Keandalan Kuantitatif Coal Feeder

5.4.1 Waktu Antar Kegagalan (TBF) Coal Feeder

Berdasarkan data berupa *historical record* harian yang telah diolah didapatkan data waktu antar kegagalan untuk *coal feeder* seperti pada Tabel 5.4:

Tabel 5.4 Waktu Antar Kegagalan (TBF) Coal Feeder

Sistem	No	Shutdown	Restore	TTF (hour)	TTR (hour)
Coal Feeder	1	05-Agu-13	05-Agu-13	0	4.5
	2	24-Agu-15	24-Agu-15	456	4.5
	3	31-Agu-15	31-Agu-15	168	4
	4	08-Sep-15	08-Sep-15	192	4
	5	14-Des-15	14-Des-15	2280	3.5
	6	22-Des-15	22-Des-15	192	3.5
	7	11-Jan-16	11-Jan-16	480	4,5

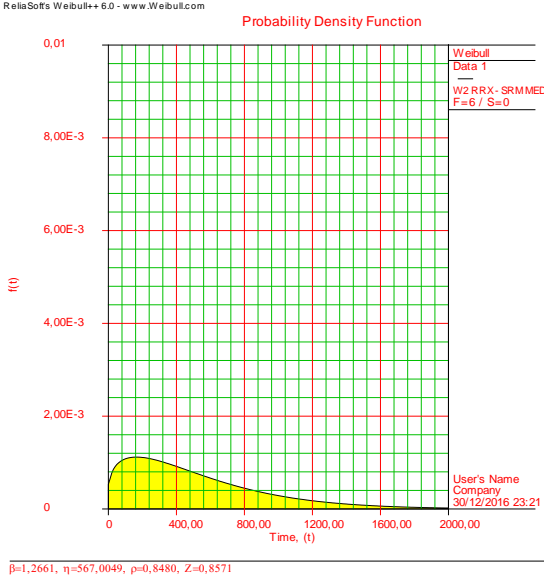
Dari hasil pengujian distribusi di atas tampak bahwa distribusi untuk data *coal feeder* adalah distribusi Weibull 2 dengan parameter berikut: Beta (β) = 1,2661 ; Eta (η) = 567,0049

5.4.2 Fungsi Padat Peluang (pdf) *Coal Feeder*

Berdasarkan parameter yang didapatkan, maka fungsi padat peluang dapat ditentukan berdasarkan persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$f(t) = \frac{1,2661}{567,0049} \left(\frac{t - 0}{567,0049} \right)^{1,2661-1} \exp \left[- \left(\frac{t - 0}{567,0049} \right)^{1,2661} \right]$$

Melalui *software* weibull++6 maka fungsi padat peluang didapatkan grafik hubungan antara pdf dengan waktu operasional seperti pada Gambar 5.10:



Gambar 5.10 Grafik pdf *Coal feeder*

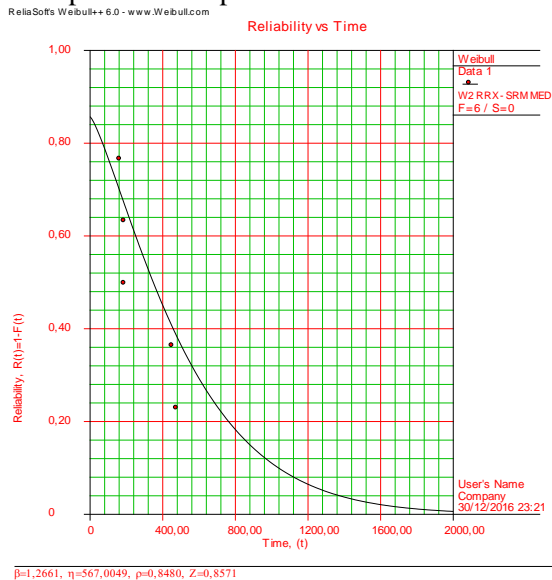
Dari Gambar 5.10 diketahui bahwa *coal feeder* memiliki prosentase luasan di bawah kurva fungsi padat peluang yang sangat kecil sehingga gearbox memiliki probabilitas kegagalan yang semakin kecil.

5.4.3 Keandalan *Coal Feeder*

Sesuai dengan pemilihan distribusi waktu antar kegagalan dari sistem *coal feeder* yang mengikuti distribusi weibull 2, maka fungsi keandalan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - 0}{\eta} \right)^{1,2661} \right]$$

Melalui *software* weibull++6 maka fungsi keandalan didapatkan sebuah grafik hubungan antara keandalan dengan waktu operasional seperti terlihat pada Gambar 5.11:



Gambar 5.11 Grafik Keandalan *Coal feeder*

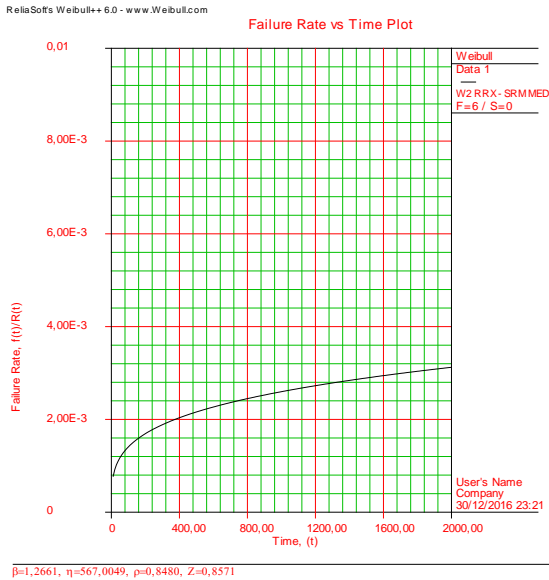
Dari Gambar 5.11 diketahui bahwa nilai keandalan dari *coal feeder* akan terus turun secara perlahan-lahan seiring dengan waktu operasional yang semakin bertambah.

5.4.4 Laju Kegagalan (Failure Rate) Sistem *Coal Feeder*

Sesuai dengan pemilihan distribusi waktu antar kegagalan dari sistem *coal feeder* yang mengikuti distribusi weibull 2, maka laju kegagalan dapat dirumuskan berdasarkan persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{1,2661}{567,0049} \left(\frac{t - 0}{567,0049} \right)^{1,2661-1}$$

Melalui *software* weibull++6 maka didapatkan grafik laju kegagalan terhadap waktu seperti pada Gambar 5.12:



Gambar 5.12 Grafik Laju kegagalan *Coal feeder*

Dari Gambar 5.12 diketahui bahwa laju kegagalan *coal feeder* menunjukkan karakteristik *wearout* yaitu laju kerusakan yang cepat dengan bertambahnya waktu operasional atau pemakaian. Hal ini disebabkan oleh keausan peralatan dan pola kerusakannya tidak dapat diprediksi.

5.4.5 Mean Time Between Failure (MTBF) Sistem Coal Feeder

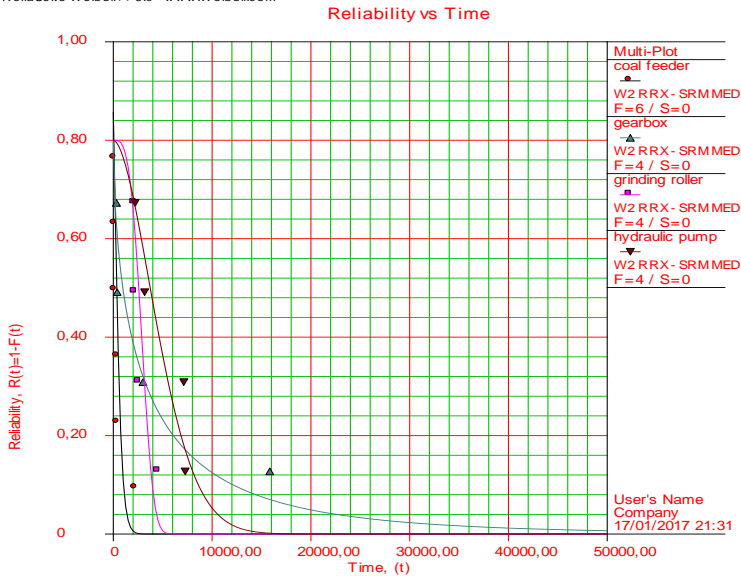
Berdasarkan persamaan di atas, maka MTBF dari sistem *coal feeder* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MTBF &= \eta \Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \\
 &= 567,0049 \Gamma \left(\frac{1}{1,2661} + 1 \right) \\
 &= 567,0049 \times \Gamma(1,7898) \\
 &= 567,0049 \times 0,92877 \\
 &= 525,1769 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

5.2 Analisa Keandalan Sistem Pulverizer

Dari hasil analisa kuantitatif yang dilakukan pada sistem *pulverizer*, maka dapat disusun grafik tingkat keandalan, probabilitas kegagalan, fungsi kerapatan probabilitas, dan laju kegagalan tiap sub-sistem pada *pulverizer*.

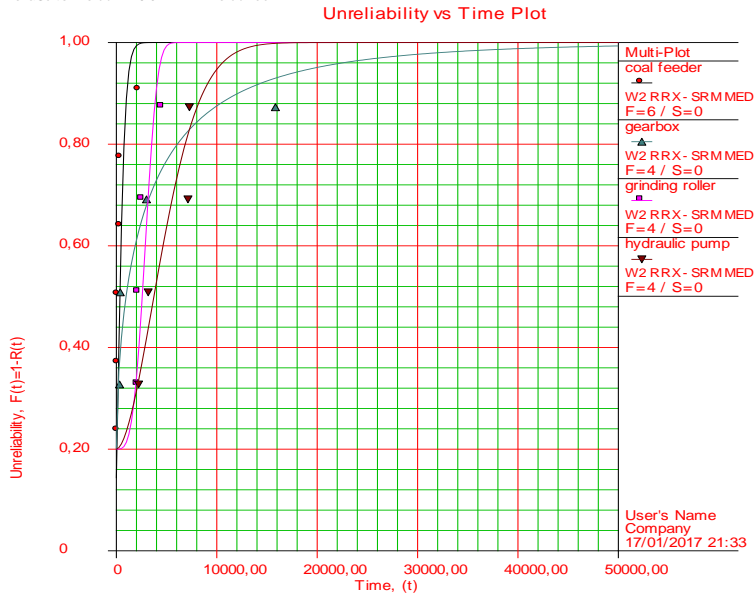
Berikut ini adalah grafik tingkat keandalan, probabilitas kegagalan, fungsi kerapatan probabilitas, dan laju kegagalan subsistem Pulverizer.



Gambar 5.13 Grafik keandalan subsistem *Pulverizer*

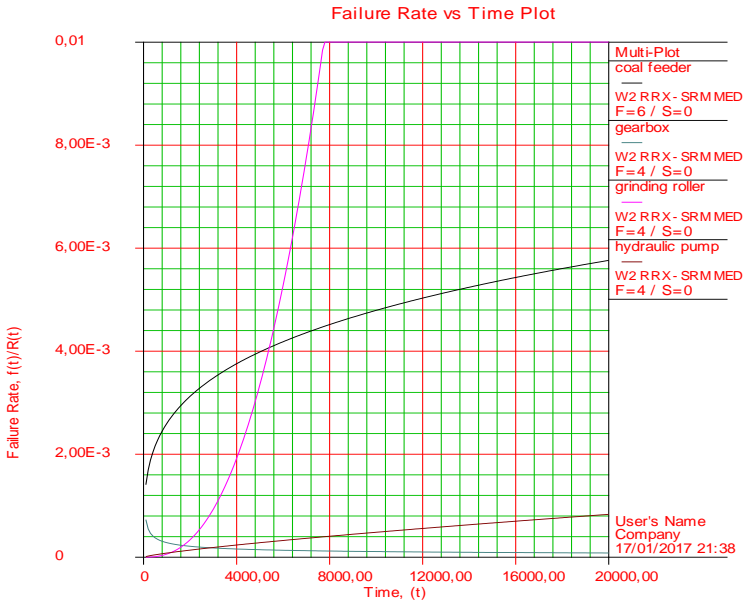
Grafik keandalan sistem *pulverizer* menunjukkan bahwa pada interval waktu yang sama *coal feeder* memiliki tingkat keandalan paling tinggi dibandingkan dengan *gearbox*, *grinding roller* dan *hydraulic pump*. *Gearbox* memiliki tingkat keandalan lebih tinggi dibanding *grinding roller*. Sedangkan *grinding roller* memiliki tingkat keandalan lebih tinggi dibanding *gearbox*.

ReliaSoft's Weibull++ 6.0 - www.Weibull.com



Gambar 5.14 Grafik probabilitas kegagalan subsistem *Pulverizer*

Grafik probabilitas kegagalan sistem *Pulverizer* menunjukkan bahwa pada interval waktu yang sama *coal feeder* memiliki tingkat probabilitas kegagalan paling rendah dibandingkan dengan *gearbox*, *grinding roller* dan *hydraulic pump*. *Gearbox* memiliki tingkat probabilitas kegagalan lebih rendah dibandingkan dengan *grinding roller* dan *hydraulic pump*. Sedangkan *grinding roller* memiliki tingkat probabilitas lebih rendah dibandingkan dengan *hydraulic pump*.



Gambar 5.15 Grafik laju kegagalan subsistem *Pulverizer*

Grafik laju kegagalan *pulverizer* menunjukkan karakteristik *useful life* pada *gearbox* yang ditandai dengan laju kegagalan yang konstan. Karakteristik *wearout* pada *grinding roller*, *hydraulic pump* dan *coal feeder* yang ditandai dengan laju kegagalan yang semakin naik seiring bertambahnya waktu operasional.

5.3 Keandalan dengan *Preventive Maintenance*

Perhitungan nilai keandalan dengan disertai *preventive maintenance* menggunakan persamaan Sebagai contoh perhitungan untuk $t=2500$ dan $\eta = 3198,1736$, diperoleh harga $n = 1$ yang diperoleh dari batasan

$nT \leq t \leq (n + 1)T = 100 \leq t \leq 100(n + 1)$, maka

- Keandalan tanpa *preventive maintenance*

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{2500}{3198,1736} \right)^{3,5003} \right]$$

$$R(t) = 0,6555$$

- Keandalan dengan *preventive maintenance*

$$R(t - nT) = \exp \left[- \left(\frac{t - n100}{3198,1736} \right)^{\beta} \right]$$

$$R(t - nT) = 0,998491$$

- Keandalan kumulatif *preventive maintenance*

$$R_m(t) = R(100)^n R(t - n100)$$

$$R_m = 0,822655$$

Nilai keandalan tanpa *preventive maintenance*, dengan *preventive maintenance*, dan nilai kumulatif *preventive maintenance* untuk berbagai nilai t pada keempat subsistem *pulverizer* ditunjukkan pada tabel di bawah ini. Hasil perhitungan diplot dalam grafik keandalan dengan *preventive maintenance* seperti penjelasan di bawah ini.

5.6.1 *Preventive Maintenance* pada *Grinding Roller* dengan berbagai Waktu Inspeksi

Berdasarkan parameter-parameter yang diperoleh dari analisa mesin *grinding roller* menggunakan distribusi weibull 2, maka diperoleh :

Reliability tanpa *preventive maintenance* berdasarkan persamaan 2.10:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{3198,1736} \right)^{3,5003} \right]$$

Reliability dengan *preventive maintenance* berdasarkan persamaan 2.26:

$$R(t - nT) = \exp \left[- \left(\frac{t - n100}{3198,1736} \right)^{3,5003} \right]$$

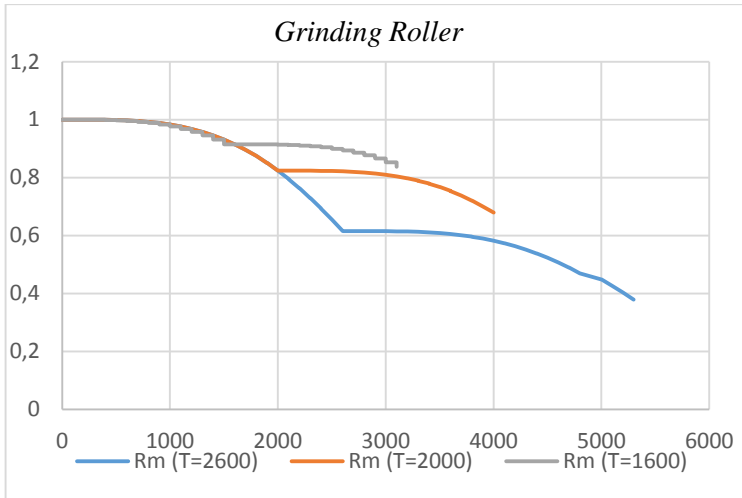
Reliability kumulatif *preventive maintenance* berdasarkan persamaan 2.25:

$$R_m(t) = R(100)^n R(t - n100)$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka nilai optimasi keandalan tanpa *preventive maintenance*, keandalan dengan *preventive maintenance*, serta keandalan kumulatif untuk berbagai nilai t dengan interval waktu 100 jam dapat diperoleh seperti ditunjukkan pada lampiran 1 sehingga didapatkan grafik seperti pada gambar 5.16.

Dari hasil analisa keandalan pada Gambar 5.16 didapatkan bahwa interval perawatan *grinding roller* secara optimum dengan mempertimbangkan besar keandalan di atas 0,6 dilakukan pada besaran 2600 jam yang ditunjukkan oleh garis biru. Keandalan di atas 0,8 dilakukan pada besaran 2000 jam ditunjukkan oleh garis jingga. Keandalan di atas 0,9 dilakukan pada besaran 1600 jam ditunjukkan oleh garis abu-abu.

Dari hasil analisa dan brainstorming dengan pihak perusahaan, maka dipilih kegiatan *preventive maintenance* setiap 2600 jam dengan mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan apabila perawatan terlalu sering dilakukan, yaitu tiap 1600 jam dan 2000 jam maka biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan akan lebih besar. Selain itu, kerugian yang ditimbulkan apabila *pulverizer* mengalami *shutdown* untuk perbaikan *grinding roller* selama 20 hari dapat menurunkan beban listrik yang dihasilkan oleh PLTU dari 850 MW menjadi 450 MW per hari.



Gambar 5. 1 Grafik keandalan *grinding roller* setelah optimasi dengan berbagai interval waktu

5.3.2 Preventive Maintenance pada Hydraulic Pump dengan Interval Waktu Inspeksi

Berdasarkan parameter-parameter yang diperoleh dari analisa mesin *grinding roller* menggunakan distribusi weibull 2, maka diperoleh :

Reliability tanpa *preventive maintenance* berdasarkan persamaan 2.10:

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{5706,1639} \right)^{1,7815} \right]$$

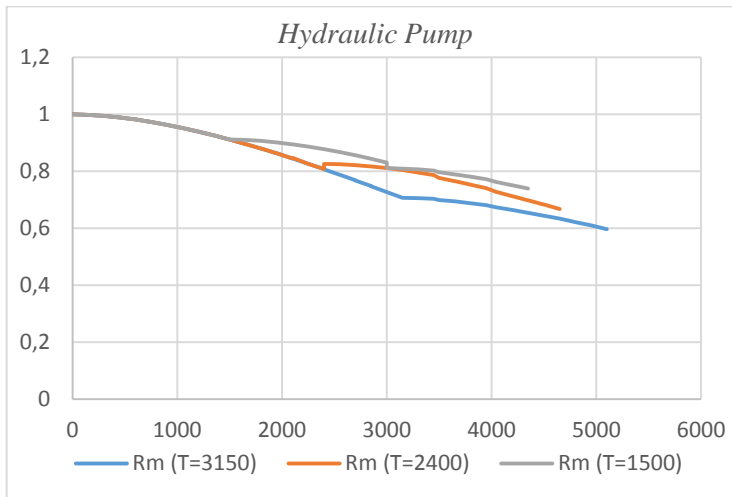
Reliability dengan *preventive maintenance* berdasarkan persamaan 2.26:

$$R(t - nT) = \exp \left[- \left(\frac{t - n250}{5706,1639} \right)^{1,7815} \right]$$

Reliability kumulatif *preventive maintenance* berdasarkan persamaan 2.25:

$$R_m(t) = R(250)^n R(t - n250)$$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka nilai optimasi keandalan tanpa *preventive maintenance*, keandalan dengan *preventive maintenance*, serta keandalan kumulatif untuk berbagai nilai t dengan interval waktu 250 jam dapat diperoleh seperti ditunjukkan pada lampiran 2 sehingga didapatkan grafik seperti pada gambar 5.17.



Gambar 5.17 Grafik keandalan *hydraulic pump* setelah optimasi dengan berbagai interval waktu

Dari hasil analisa keandalan pada Gambar 5.17 didapatkan bahwa interval perawatan *hydraulic pump* secara optimum dengan mempertimbangkan besar keandalan di atas 0,7 dilakukan pada besaran 3150 jam yang ditunjukkan oleh garis biru. Besar keandalan di atas 0,8 dilakukan pada besaran jam 2400 jam. Besar keandalan di atas 0,9 dilakukan pada besaran 1500 jam. Dari hasil analisa dan brainstorming dengan pihak perusahaan, maka dipilih kegiatan *preventive maintenance* setiap 3150 jam dengan mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan apabila perawatan terlalu sering dilakukan, yaitu tiap 1500 jam dan 2400 jam maka biaya yang dikeluarkan oleh

perusahaan akan lebih besar. Selain itu, kerugian yang ditimbulkan apabila *pulverizer* mengalami *shutdown* untuk perbaikan *grinding roller* selama 20 hari dapat menurunkan beban listrik yang dihasilkan oleh PLTU dari 850 MW menjadi 450 MW per hari.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data secara kualitatif dan kuantitatif yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari analisa data secara kualitatif pada empat subsistem *pulverizer* yang telah dilakukan dapat diketahui terdapat 12 *failure mode* yang terjadi, yaitu:
 - 3 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled restoration task (preventive maintenance)* yaitu tindakan rekondisi yang dilakukan untuk mengembalikan kemampuan asal atau melakukan *overhaul* pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan tanpa memandang kondisi komponen pada saat perbaikan.
 - 8 *failure mode* dapat dicegah dengan *scheduled discard task (preventive maintenance)* yaitu tindakan yang diambil dengan melakukan penggantian komponen rusak dengan komponen baru pada saat atau sebelum batas umur yang telah ditetapkan atau sesuai interval waktu tertentu tanpa memandang kondisi komponen saat penggantian.
 - 1 *failure mode* dapat dicegah dengan *redesign*. *Redesign* mencakup perubahan dari kemampuan suatu sistem, termasuk di dalamnya adalah modifikasi peralatan atau prosedur kerja. *Redesign* dilakukan pada *thrust bearing* yang mengalami *high temperature*. *Redesign* yang direkomendasikan adalah mengganti material bearing dan mengganti sistem pelumasan.
2. Dari analisa data secara kuantitatif yang telah dianalisa menggunakan perangkat lunak Weibull++ 6 dapat diketahui nilai rata-rata waktu antar kegagalan (MTBF) masing-masing subsistem, yaitu rata-rata waktu antar kegagalan (MTBF) dari *grinding roller* adalah 224,568 jam. Rata-rata waktu antar

kegagalan (MTBF) dari *hydraulic pump* adalah 3,0939 jam. Rata-rata waktu antar kegagalan (MTBF) dari *gearbox* adalah 396,02 jam. Rata-rata waktu antar kegagalan (MTBF) dari *coal feeder* adalah 525,1769 jam.

3. Dari keempat subsistem yang telah dianalisa, didapatkan 3 grafik, yaitu:
 - Grafik tingkat keandalan keempat subsistem *pulverizer*, didapatkan bahwa *coal feeder* memiliki tingkat keandalan paling tinggi dibandingkan dengan *gearbox*, *grinding roller*, dan *hydraulic pump*
 - Grafik probabilitas kegagalan *pulverizer*, didapatkan bahwa *coal feeder* memiliki tingkat probabilitas kegagalan paling rendah dibandingkan *gearbox*, dan *grinding roller*, *hydraulic pump*.
 - Grafik laju kegagalan *pulverizer* menunjukkan karakteristik *useful life* pada *gearbox*, karakteristik *wearout* pada *grinding roller*, *hydraulic pump* dan *coal feeder*.

6.2 Saran

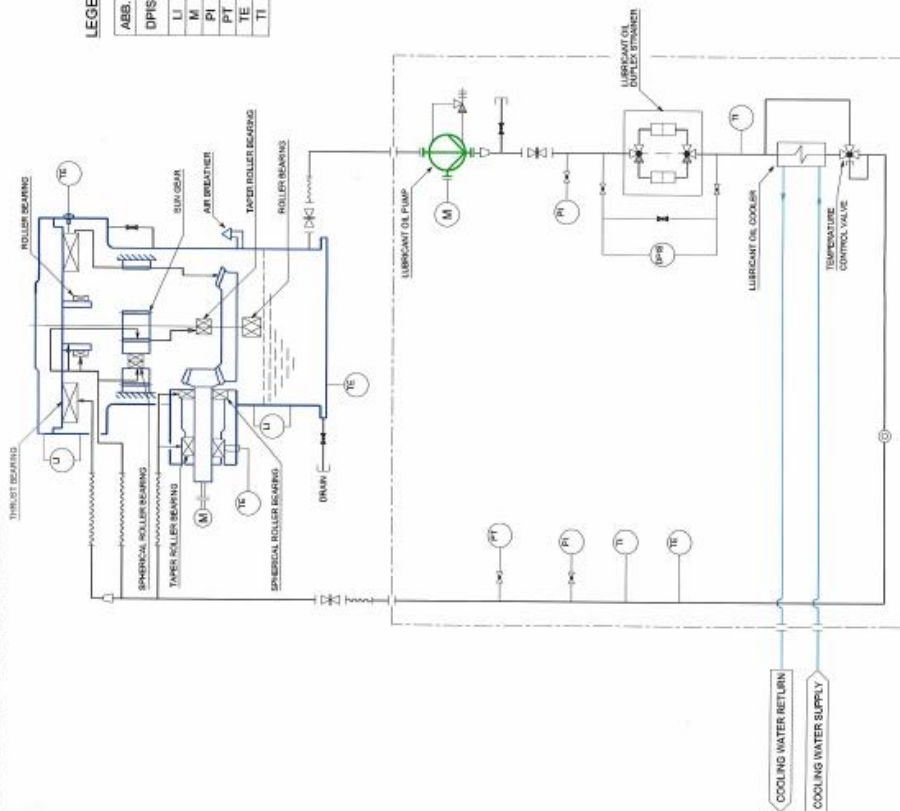
Saran yang dapat diberikan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Berdasarkan hasil dari pengolahan data secara kualitatif, penulis menyarankan agar Reliability Centered Maintenance (RCM) dapat diterapkan dalam sistem perawatan *pulverizer* di PLTU Paiton Unit 3.
2. Pihak perusahaan hendaknya melakukan tindakan perawatan pencegahan secara intensif untuk menghindari terjadinya kerusakan yang dapat mempengaruhi biaya perawatan dan perbaikan komponen.
3. Pelaksanaan kegiatan perawatan ini dapat dilakukan dengan memperhatikan pertimbangan kondisi komponen serta biaya yang diperlukan untuk perbaikan maupun penggantian komponen dari subsistem tersebut. Hal ini sangat penting untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rasindiyo, M., Kusumaningrum., Helianti, Yanty. 2015. “Analisis Kebijakan Perawatan Mesin Cinnati Dengan Menggunakan Reliability Centered Maintenance Di PT. Dirgantara Indonesia”. Jurnal Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- [2] P. C. Herry., Sutanto, Winny. 2012. “Perancangan RCM Untuk Mengurangi Downtime Mesin Pada Perusahaan Manufaktur Aluminium”. **Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XV**. Jurnal Program Studi MMT-ITS, Surabaya.
- [3] R. M. Barai., A.D. Kadam., A.V. Harde and P. S. Barve. 2012. “Reliability Centered Maintenance Methodology for Goliath Crane of Transmission Tower, “IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), vol. 3, no. 1, pp. 20-27.
- [4] F. A. Sutanto., 2012. “Implementasi Teknik Keandalan untuk Mengoptimalkan Interval Perawatan dan Jadwal Penggantian Komponen Kritis Mesin Panel Welding”. Tugas Akhir Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya..
- [5] J, Moubray. 1997. **Reliability Centered Maintenance**. New York: Industrial Press Inc.
- [6] Azis, Tahril M., Suprawhardana, Salman M., Pudji Purwanto, Teguh. “Penerapan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) Berbasis Web Pada Sistem Pendingin Primer Di Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy”. Jurnal Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- [7] National Aeronautics and Space Administration. 2008. **Reliability-Centered Maintenance Guide For Facilities and Collateral Equipment**. Washington DC, USA.
- [8] Rindiyah, Anita. 2014. “Penurunan Persediaan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance”.. Tugas Akhir Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [9] A. O. Wisandiko,. 2011. “Analisa Keandalan Keamanan dan Manajemen Resiko Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Blok 2.2 di PLTGU PT. PJB UP Gresik dengan Menggunakan Pendekatan Kuantitatif”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [10] F.A. Sutanto. 2012. “Implementasi Teknik Keandalan untuk Mengoptimalkan Interval Perawatan dan Jadwal Penggantian Komponen Kritis Studi Kasus: Mesin Panel Welding di PT. Alstom Power Energy System Indonesia. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [11] C. E. Ebeling. 1997. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering**. McGraw-Hill Companies, Inc. Boston, USA.
- [12] Pulverizer Maintenance Manual. Mitshubishi Heavy Industries. Japan.



LEGEND

ABB.	EXPANDED FORM
DPS	DIFFERENTIAL PRESSURE
LI	LEVEL INDICATOR
M	ELECTRIC MOTOR
PI	PRESSURE INDICATOR
PT	PRESSURE TRANSMITTER
TE	TEMPERATURE ELEMENT
TI	TEMPERATURE INDICATOR

LAMPIRAN 3

TABEL GAMMA

c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$	c	$\Gamma(x)$
1.01	0.99433	1.51	0.88659	2.01	1.00427	2.51	1.33875
1.02	0.98884	1.52	0.88704	2.02	1.00862	2.52	1.34830
1.03	0.98355	1.53	0.88757	2.03	1.01306	2.53	1.35798
1.04	0.97844	1.54	0.88818	2.04	1.01758	2.54	1.36779
1.05	0.97350	1.55	0.88887	2.05	1.02218	2.55	1.37775
1.06	0.96874	1.56	0.88964	2.06	1.02687	2.56	1.38784
1.07	0.96415	1.57	0.89049	2.07	1.03164	2.57	1.39807
1.08	0.95973	1.58	0.89142	2.08	1.03650	2.58	1.40844
1.09	0.95546	1.59	0.89243	2.09	1.04145	2.59	1.41896
1.10	0.95153	1.60	0.89352	2.10	1.04649	2.60	1.42962
1.11	0.94740	1.61	0.89468	2.11	1.05161	2.61	1.44044
1.12	0.94359	1.62	0.89592	2.12	1.05682	2.62	1.45140
1.13	0.93993	1.63	0.89724	2.13	1.06212	2.63	1.46251
1.14	0.93642	1.64	0.89864	2.14	1.06751	2.64	1.47377
1.15	0.93304	1.65	0.90012	2.15	1.07300	2.65	1.48519
1.16	0.92980	1.66	0.90167	2.16	1.07857	2.66	1.49677
1.17	0.92670	1.67	0.90330	2.17	1.08424	2.67	1.50851
1.18	0.92373	1.68	0.90500	2.18	1.09000	2.68	1.52040
1.19	0.92089	1.69	0.90678	2.19	1.09585	2.69	1.53246
1.20	0.91817	1.70	0.90864	2.20	1.10180	2.70	1.54469
1.21	0.91558	1.71	0.91057	2.21	1.10785	2.71	1.55708
1.22	0.91311	1.72	0.91258	2.22	1.11399	2.72	1.56964
1.23	0.91075	1.73	0.91467	2.23	1.12023	2.73	1.58237
1.24	0.90852	1.74	0.91683	2.24	1.12657	2.74	1.59528
1.25	0.90640	1.75	0.91906	2.25	1.13300	2.75	1.60836
1.26	0.90440	1.76	0.92137	2.26	1.13954	2.76	1.62162
1.27	0.90250	1.77	0.92376	2.27	1.14618	2.77	1.63506
1.28	0.90072	1.78	0.92623	2.28	1.15292	2.78	1.64868
1.29	0.89904	1.79	0.92877	2.29	1.15976	2.79	1.66249
1.30	0.89747	1.80	0.93138	2.30	1.16671	2.80	1.67649
1.31	0.89600	1.81	0.93408	2.31	1.17377	2.81	1.69068
1.32	0.89464	1.82	0.93685	2.32	1.18093	2.82	1.70506
1.33	0.89338	1.83	0.93969	2.33	1.18819	2.83	1.71963
1.34	0.89222	1.84	0.94261	2.34	1.19557	2.84	1.73441
1.35	0.89115	1.85	0.94561	2.35	1.20305	2.85	1.74938
1.36	0.89018	1.86	0.94869	2.36	1.21065	2.86	1.76456
1.37	0.88931	1.87	0.95184	2.37	1.21836	2.87	1.77994
1.38	0.88854	1.88	0.95507	2.38	1.22618	2.88	1.79553
1.39	0.88785	1.89	0.95838	2.39	1.23412	2.89	1.81134
1.40	0.88726	1.90	0.96177	2.40	1.24217	2.90	1.82736
1.41	0.88676	1.91	0.96523	2.41	1.25034	2.91	1.84359
1.42	0.88636	1.92	0.96877	2.42	1.25863	2.92	1.86005
1.43	0.88604	1.93	0.97240	2.43	1.26703	2.93	1.87673
1.44	0.88581	1.94	0.97610	2.44	1.27556	2.94	1.89363
1.45	0.88566	1.95	0.97988	2.45	1.28421	2.95	1.91077
1.46	0.88560	1.96	0.98374	2.46	1.29298	2.96	1.92814
1.47	0.88563	1.97	0.98769	2.47	1.30188	2.97	1.94574
1.48	0.88575	1.98	0.99171	2.48	1.31091	2.98	1.96358
1.49	0.88595	1.99	0.99581	2.49	1.32006	2.99	1.98167
1.50	0.88623	2.00	1.00000	2.50	1.32934	3.00	2.00000

Sumber : Ebeling, C.E, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*,
Mc Graw-Hill, New York, 1997

LAMPIRAN 4

Perhitungan Keandalan *Grinding Roller*

<i>Shutdown</i>	<i>Restore</i>	TBF (hour)	TTR (hour)
21-Agu-12	10-Sep-12	0	470
14-Des-12	14-Des-12	2256	12
04-Apr-13	04-Apr-13	2640	12
16-Okt-13	05-Nov-13	4608	480
07-Feb-14	26-Feb-14	2208	480

TBF	
Distribution	Weibull 2
Beta	3,5003
Eta	3198,1736

Perhitungan dengan *Preventive Maintenance* (T=2600 jam)

t	$\lambda(t)$	Rm (t)	t	$\lambda(t)$	Rm (t)
0,01	1	1	2601	0,61565	0,61565
100	0,99999	0,99999	2700	0,57532	0,61565
101	0,99999	0,99999	2701	0,57491	0,61565
200	0,99994	0,99994	2800	0,53372	0,61561
201	0,99994	0,99994	2801	0,53333	0,61561
300	0,99975	0,99975	2900	0,49167	0,6155
301	0,99974	0,99974	2901	0,49125	0,61549
400	0,99931	0,99931	3000	0,4496	0,61523
401	0,9993	0,9993	3001	0,44918	0,61522

500	0,99849	0,99849	3100	0,40795	0,61472
501	0,99848	0,99848	3101	0,40754	0,61472
600	0,99715	0,99715	3200	0,36714	0,61389
601	0,99713	0,99713	3201	0,36674	0,61388
700	0,99511	0,99511	3300	0,3276	0,61264
701	0,99508	0,99508	3301	0,32722	0,61263
800	0,99221	0,99221	3400	0,28971	0,61085
801	0,99217	0,99217	3401	0,28934	0,61083
900	0,98825	0,98825	3500	0,25381	0,60842
901	0,98821	0,98821	3501	0,25346	0,60839
1000	0,98306	0,98306	3600	0,22019	0,60522
1001	0,983	0,983	3601	0,21986	0,60518
1100	0,97643	0,97643	3700	0,18908	0,60114
1101	0,97635	0,97635	3701	0,18878	0,60109
1200	0,96817	0,96817	3800	0,16065	0,59606
1201	0,96808	0,96808	3801	0,16038	0,596
1300	0,9581	0,9581	3900	0,13498	0,58985
1301	0,95798	0,95798	3901	0,13474	0,58979
1400	0,94603	0,94603	4000	0,11212	0,58242
1401	0,94589	0,94589	4001	0,11191	0,58234
1500	0,9318	0,9318	4100	0,09202	0,57366
1501	0,93164	0,93164	4101	0,09184	0,57357
1600	0,91526	0,91526	4200	0,0746	0,56348
1601	0,91508	0,91508	4201	0,07443	0,56337
1700	0,8963	0,8963	4300	0,05969	0,55181
1701	0,8961	0,8961	4301	0,05956	0,55168
1800	0,87483	0,87483	4400	0,04714	0,53859
1801	0,8746	0,8746	4401	0,04702	0,53845
1900	0,85079	0,85079	4500	0,03671	0,52379

1901	0,85054	0,85054	4501	0,03662	0,52363
2000	0,82418	0,82418	4600	0,02818	0,50741
2001	0,8239	0,8239	4601	0,02811	0,50723
2100	0,79503	0,79503	4700	0,02132	0,48946
2101	0,79472	0,79472	4701	0,02126	0,48927
2200	0,76342	0,76342	4800	0,01589	0,47
2201	0,76309	0,76309	4801	0,01584	0,4698
2300	0,7295	0,7295	5000	0,01165	0,44912
2301	0,72915	0,72915	5001	0,01161	0,44891
2400	0,69347	0,69347	5100	0,00841	0,42693
2401	0,6931	0,6931	5101	0,00838	0,42671
2500	0,65555	0,65555	5200	0,00597	0,40359
2501	0,65516	0,65516	5201	0,00595	0,40335
2600	0,61605	0,61605	5300	0,00416	0,37927

Perhitungan dengan *Preventive Maintenance* (T=2000 jam)

t	$\lambda(t)$	Rm (t)	t	$\lambda(t)$	Rm (t)
0,01	1	1	2801	0,5333	0,81745
100	0,99999	0,99999	2900	0,49167	0,81422
101	0,99999	0,99999	2901	0,49125	0,81418
200	0,99994	0,99994	3000	0,4496	0,80994
201	0,99994	0,99994	3001	0,44918	0,80989
300	0,99975	0,99975	3100	0,40795	0,80448
301	0,99974	0,99974	3101	0,40754	0,80442
400	0,99931	0,99931	3200	0,36714	0,79767
401	0,9993	0,9993	3201	0,36674	0,7976
500	0,99849	0,99849	3300	0,3276	0,78937

501	0,99848	0,99848	3301	0,32722	0,78928
600	0,99715	0,99715	3400	0,28971	0,77943
601	0,99713	0,99713	3401	0,28934	0,77932
700	0,99511	0,99511	3500	0,25381	0,76771
701	0,99508	0,99508	3501	0,25346	0,76758
800	0,99221	0,99221	3600	0,22019	0,75408
801	0,99217	0,99217	3601	0,21986	0,75394
900	0,98825	0,98825	3700	0,18908	0,73846
901	0,98821	0,98821	3701	0,18878	0,73829
1000	0,98306	0,98306	3800	0,16065	0,72077
1001	0,983	0,983	3801	0,16038	0,72058
1100	0,97643	0,97643	3900	0,13498	0,70097
1101	0,97635	0,97635	3901	0,13474	0,70076
1200	0,96817	0,96817	4000	0,11212	0,67904
1201	0,96808	0,96808	4001	0,11191	0,01252
1300	0,9581	0,9581	4100	0,09202	0,01252
1301	0,95798	0,95798	4101	0,09184	0,01252
1400	0,94603	0,94603	4200	0,0746	0,01252
1401	0,94589	0,94589	4201	0,07443	0,01252
1500	0,9318	0,9318	4300	0,05969	0,01252
1501	0,93164	0,93164	4301	0,05956	0,01252
1600	0,91526	0,91526	4400	0,04714	0,01251
1601	0,91508	0,91508	4401	0,04702	0,01251
1700	0,8963	0,8963	4500	0,03671	0,0125
1701	0,8961	0,8961	4501	0,03662	0,0125
1800	0,87483	0,87483	4600	0,02818	0,01249
1801	0,8746	0,8746	4601	0,02811	0,01249
1900	0,85079	0,85079	4700	0,02132	0,01246
1901	0,85054	0,85054	4701	0,02126	0,01246

2000	0,82418	0,82418	4800	0,01589	0,01243
2001	0,8239	0,8239	4801	0,01584	0,01242
2100	0,79503	0,82389	4900	0,01165	0,01238
2101	0,79472	0,82389	4901	0,01161	0,01238
2200	0,76342	0,82385	5000	0,00841	0,01231
2201	0,76309	0,82385	5001	0,00838	0,01231
2300	0,7295	0,82369	5100	0,00597	0,01223
2301	0,72915	0,82369	5101	0,00595	0,01223
2400	0,69347	0,82333	5200	0,00416	0,01212
2401	0,6931	0,82332	5201	0,00415	0,01212
2500	0,65555	0,82266	5300	0,00285	0,012
2501	0,65516	0,82265	5301	0,00284	0,012
2600	0,61605	0,82155	5400	0,00192	0,01185
2601	0,61565	0,82153	5401	0,00191	0,01185
2700	0,57532	0,81987	5500	0,00127	0,01167
2701	0,57491	0,81985	5501	0,00126	0,01167
2800	0,53372	0,81748	5600	0,00082	0,01146

Perhitungan dengan *Preventive Maintenance* (T=1600 jam)

t	$\lambda(t)$	Rm (t)	t	$\lambda(t)$	Rm (t)
0,01	1	1	2001	0,823899	0,91444
100	0,999995	0,999995	2100	0,795026	0,9137
101	0,999994	0,999994	2101	0,794722	0,91369
200	0,999939	0,999939	2200	0,763422	0,91247
201	0,999938	0,999938	2201	0,763094	0,91246
300	0,999747	0,999747	2300	0,729505	0,91061
301	0,999744	0,999744	2301	0,729154	0,91058

400	0,999309	0,999309	2400	0,693466	0,90795
401	0,999303	0,999303	2401	0,693095	0,90792
500	0,998491	0,998491	2500	0,65555	0,90433
501	0,99848	0,99848	2501	0,655163	0,90429
600	0,997145	0,997145	2600	0,616054	0,89958
601	0,997129	0,997129	2601	0,615652	0,89953
700	0,995109	0,995109	2700	0,575318	0,89351
701	0,995084	0,995084	2701	0,574905	0,89344
800	0,992206	0,992206	2800	0,533721	0,88596
801	0,992172	0,992172	2801	0,533302	0,88587
900	0,988252	0,988252	2900	0,491673	0,87674
901	0,988207	0,988207	2901	0,491251	0,87664
1000	0,983057	0,983057	3000	0,449603	0,86569
1001	0,982998	0,982998	3001	0,449184	0,86557
1100	0,976427	0,976427	3100	0,407949	0,85267
1101	0,976353	0,976353	3101	0,407536	0,85253
1200	0,968169	0,968169	3200	0,367144	0,83754
1201	0,968078	0,968078	3201	0,366742	0,36674
1300	0,958095	0,958095	3300	0,327603	0,36674
1301	0,957985	0,957985	3301	0,327215	0,36674
1400	0,946025	0,946025	3400	0,28971	0,36672
1401	0,945894	0,945894	3401	0,289341	0,36672
1500	0,931795	0,931795	3500	0,253809	0,36665
1501	0,931642	0,931642	3501	0,253461	0,36665
1600	0,91526	0,91526	3600	0,220188	0,36649
1601	0,915083	0,915083	3601	0,219864	0,36649
1700	0,896301	0,915078	3700	0,189079	0,36619
1701	0,896099	0,915078	3701	0,188781	0,36618
1800	0,874828	0,915027	3800	0,160646	0,3657

1801	0,874601	0,915026	3801	0,160375	0,36569
1900	0,850791	0,914852	3900	0,134983	0,36495
1901	0,850537	0,914849	3901	0,134741	0,36494
2000	0,824178	0,91445	4000	0,112121	0,36388

LAMPIRAN 5

Perhitungan Keandalan *Hydraulic Pump*

Shutdown	Restore	TBF (hour)	TTR (hour)
08-Apr-13	08-Apr-13	0	2
11-Feb-14	11-Feb-14	7272	8
13-Mei-14	13-Mei-14	2208	6
10-Mar-15	10-Mar-15	7128	1
22-Jul-15	22-Jul-15	3168	3

TBF	
Distribution	Weibull 2
Beta	1,7815
Eta	5706,1639

Perhitungan dengan *Preventive Maintenance* (T=3150 jam)

t	$\lambda(t)$	Rm (t)	t	$\lambda(t)$	Rm (t)
0,01	1	1	2700	0,76823	0,76823
150	0,99847	0,99847	2701	0,7681	0,7681
151	0,99845	0,99845	2850	0,74802	0,74802
300	0,99475	0,99475	2851	0,74789	0,74789
301	0,99472	0,99472	3000	0,72753	0,72753
450	0,98922	0,98922	3001	0,72739	0,72739
451	0,98918	0,98918	3150	0,70681	0,70681
600	0,98208	0,98208	3151	0,70668	0,70668

601	0,98202	0,98202	3300	0,68594	0,7056
750	0,97344	0,97344	3301	0,6858	0,70558
751	0,97338	0,97338	3450	0,66496	0,70297
900	0,96344	0,96344	3451	0,66482	0,70295
901	0,96337	0,96337	3500	0,65795	0,69906
1050	0,95217	0,95217	3501	0,65781	0,69903
1051	0,95209	0,95209	3650	0,63691	0,69401
1200	0,93972	0,93972	3651	0,63677	0,69397
1201	0,93963	0,93963	3800	0,61589	0,68791
1350	0,92617	0,92617	3801	0,61575	0,68787
1351	0,92608	0,92608	3950	0,59494	0,68084
1500	0,91162	0,91162	3951	0,5948	0,68079
1501	0,91152	0,91152	4050	0,58104	0,67287
1650	0,89615	0,89615	4051	0,5809	0,67282
1651	0,89604	0,89604	4200	0,5603	0,66407
1800	0,87982	0,87982	4201	0,56016	0,66401
1801	0,87971	0,87971	4350	0,53975	0,6545
1950	0,86272	0,86272	4351	0,53961	0,65444
1951	0,86261	0,86261	4500	0,51942	0,64422
2100	0,84493	0,84493	4501	0,51928	0,64415
2101	0,84481	0,84481	4650	0,49935	0,63328
2250	0,82651	0,82651	4651	0,49922	0,63321
2251	0,82639	0,82639	4800	0,47957	0,62175
2400	0,80755	0,80755	4801	0,47944	0,62167
2401	0,80742	0,80742	4950	0,46012	0,60967
2550	0,7881	0,7881	4951	0,45999	0,60958
2551	0,78796	0,78796	5100	0,44102	0,59709

Perhitungan dengan *Preventive Maintenance* (T=2400 jam)

t	$\lambda(t)$	Rm (t)	t	$\lambda(t)$	Rm (t)
0,01	1	1	2700	0,768233	0,822052
150	0,99847	0,998471	2701	0,7681	0,822026
151	0,99845	0,998453	2850	0,748023	0,817484
300	0,99475	0,994753	2851	0,747887	0,817449
301	0,99472	0,994722	3000	0,72753	0,811576
450	0,98922	0,989225	3001	0,727392	0,811532
451	0,98918	0,989182	3150	0,706815	0,804442
600	0,98208	0,982076	3151	0,706676	0,804391
601	0,98202	0,982024	3300	0,685938	0,796176
750	0,97344	0,973444	3301	0,685798	0,796117
751	0,97338	0,973382	3450	0,664956	0,78686
900	0,96344	0,963441	3451	0,664815	0,786794
901	0,96337	0,96337	3500	0,657948	0,77657
1050	0,95217	0,952168	3501	0,657808	0,776498
1051	0,95209	0,952088	3650	0,636911	0,765378
1200	0,93972	0,939716	3651	0,636771	0,765301
1201	0,93963	0,939629	3800	0,615893	0,753354
1350	0,92617	0,926173	3801	0,615753	0,753271
1351	0,92608	0,926079	3950	0,594942	0,740564
1500	0,91162	0,911622	3951	0,594803	0,740476
1501	0,91152	0,911522	4050	0,581036	0,727072
1650	0,89615	0,896145	4051	0,580897	0,72698
1651	0,89604	0,896039	4200	0,5603	0,712944
1800	0,87982	0,879819	4201	0,560162	0,712847
1801	0,87971	0,879708	4350	0,539748	0,698239
1950	0,86272	0,862722	4351	0,539611	0,698139

1951	0,86261	0,862606	4500	0,519419	0,68302
2100	0,84493	0,844929	4501	0,519284	0,682917
2101	0,84481	0,698139	4650	0,49935	0,667346
2250	0,82651	0,826513	4651	0,499217	0,249218
2251	0,82639	0,826388	4800	0,479573	0,248837
2400	0,80755	0,807545	4801	0,479442	0,248832
2401	0,80742	0,826388	4950	0,46012	0,24791
2550	0,7881	0,825124	4951	0,459991	0,247903
2551	0,78796	0,825109	5100	0,441018	0,246533

Perhitungan dengan *Preventive Maintenance* (T=1500 jam)

t	$\lambda(t)$	Rm (t)	t	$\lambda(t)$	Rm (t)
0,01	1	1	2700	0,768233	0,85657
150	0,99847	0,99847	2701	0,7681	0,85649
151	0,99845	0,99845	2850	0,748023	0,84423
300	0,99475	0,99475	2851	0,747887	0,84414
301	0,99472	0,99472	3000	0,72753	0,83096
450	0,98922	0,98922	3001	0,727392	0,81091
451	0,98918	0,98918	3150	0,706815	0,80967
600	0,98208	0,98208	3151	0,706676	0,80966
601	0,98202	0,98202	3300	0,685938	0,80666
750	0,97344	0,97344	3301	0,685798	0,80663
751	0,97338	0,97338	3450	0,664956	0,80218
900	0,96344	0,96344	3451	0,664815	0,80214
901	0,96337	0,96337	3500	0,657948	0,79638
1050	0,95217	0,95217	3501	0,657808	0,79634
1051	0,95209	0,95209	3650	0,636911	0,78938

1200	0,93972	0,93972	3651	0,636771	0,78933
1201	0,93963	0,93963	3800	0,615893	0,78127
1350	0,92617	0,92617	3801	0,615753	0,78121
1351	0,92608	0,92608	3950	0,594942	0,77213
1500	0,91162	0,91162	3951	0,594803	0,77206
1501	0,91152	0,91152	4050	0,581036	0,76203
1650	0,89615	0,91013	4051	0,580897	0,76196
1651	0,89604	0,91011	4200	0,5603	0,75105
1800	0,87982	0,90674	4201	0,560162	0,75097
1801	0,87971	0,90671	4350	0,539748	0,73925
1950	0,86272	0,9017	4351	0,539611	0,52904
1951	0,86261	0,90166	4500	0,519419	0,50655
2100	0,84493	0,89518	4501	0,519284	0,50654
2101	0,84481	0,89514	4650	0,49935	0,50467
2250	0,82651	0,88732	4651	0,499217	0,50465
2251	0,82639	0,88726	4800	0,479573	0,50186
2400	0,80755	0,8782	4801	0,479442	0,50184
2401	0,80742	0,87813	4950	0,46012	0,49823
2550	0,7881	0,86792	4951	0,459991	0,49821
2551	0,78796	0,86785	5100	0,441018	0,49386

LAMPIRAN 6

Perhitungan Keandalan *Coal Feeder*

Shutdown	Restore	TTF (hour)	TTR (hour)
05-Agu-13	05-Agu-13	0	4.5
24-Agu-15	24-Agu-15	456	4.5
31-Agu-15	31-Agu-15	168	4
08-Sep-15	08-Sep-15	192	4
14-Des-15	14-Des-15	2280	3.5
22-Des-15	22-Des-15	192	3.5
11-Jan-16	11-Jan-16	480	4,5

TBF	
Distribution	Weibull 2
Beta	1,2661
Eta	567,0049

Perhitungan dengan *Preventive Maintenance* (T=250)

t	$\lambda(t)$	Rm (t)	t	$\lambda(t)$	Rm (t)
0,01	1	1	501	0,4253	0,18088
50	0,95484	0,95484	550	0,38206	0,17271
51	0,95372	0,95372	551	0,38121	0,17251
100	0,89481	0,89481	600	0,34156	0,16185
101	0,89355	0,89355	601	0,34078	0,16162

150	0,83052	0,83052	650	0,30458	0,15022
151	0,82921	0,82921	651	0,30388	0,14999
200	0,76543	0,76543	700	0,27097	0,13845
201	0,76414	0,76414	701	0,27033	0,13822
250	0,70147	0,70147	750	0,24052	0,12688
251	0,70021	0,70021	751	0,23994	0,01381
300	0,63977	0,66859	800	0,21304	0,01319
301	0,63856	0,6678	801	0,21252	0,01317
350	0,58105	0,62655	850	0,18832	0,01236
351	0,57991	0,62567	851	0,18785	0,01234
400	0,52576	0,58153	900	0,16614	0,01147
401	0,52469	0,58062	901	0,16572	0,01145
450	0,47412	0,53596	950	0,1463	0,01057
451	0,47312	0,53506	951	0,14592	0,01056
500	0,42622	0,49117	1000	0,1286	0,00969

TENTANG PENULIS



Ratna Bhakti Puspita Sari dilahirkan pada tanggal 23 September 1992 di Jember. Penulis sejak kecil hidup dan besar di Jember. Penulis memulai pendidikan dari bangku sekolah dasar di SD Al-Furqan Jember hingga tahun 2005, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 2 Jember hingga tahun 2007, lalu melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Jember hingga tahun 2010. Setelah lulus dari bangku sekolah menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan diploma Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Malang hingga tahun 2013. Penulis sempat bekerja di PLTU Paiton Unit 7 & 8 hingga 2014. Kemudian penulis melanjutkan kuliah tahap sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil Jurusan Teknik Mesin melalui program Lintas Jalur. Penulis mengambil bidang studi rekayasa sistem industri dengan Tugas Akhir spesifik pada arah Sistem Pemeliharaan. Semasa di bangku perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai bidang kegiatan organisasi dan kepanitiaan di luar kampus. Penulis dapat dihubungi melalui email berikut: ratnabhaktips@gmail.com